



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**ALIRAN DAYA OPTIMAL DINAMIS DENGAN  
MEMPERTIMBANGKAN HARGA *CHARGING* DAN  
*DISCHARGING ENERGY STORAGE* MENGGUNAKAN  
*MIXED-INTEGER QUADRATIC PROGRAMMING***

Fiona Yolita Purnomo  
NRP 2213100060

Dosen Pembimbing  
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.  
Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**ALIRAN DAYA OPTIMAL DINAMIS DENGAN  
MEMPERTIMBANGKAN HARGA *CHARGING* DAN  
*DISCHARGING ENERGY STORAGE* MENGGUNAKAN  
*MIXED-INTEGER QUADRATIC PROGRAMMING***

**Fiona Yolita Purnomo  
NRP 2213100060**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.  
Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017**



**FINAL PROJECT - TE 141599**

**DYNAMIC OPTIMAL POWER FLOW CONSIDERING  
CHARGING AND DISCHARGING COST OF ENERGY  
STORAGE USING MIXED-INTEGER QUADRATIC  
PROGRAMMING**

**Fiona Yolita Purnomo  
NRP 2213100060**

**Supervisors  
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.  
Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, M.T.**

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Electrical Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2017**



## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan “**Aliran Daya Optimal Dinamis dengan Mempertimbangkan Harga *Charging* dan *Discharging* Energy Storage Menggunakan *Mixed-Integer Quadratic Programming***” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 4 Juni 2017

Fiona Yolita Purnomo  
NRP 2213100060

**ALIRAN DAYA OPTIMAL DINAMIS DENGAN  
MEMPERTIMBANGKAN HARGA CHARGING DAN  
DISCHARGING ENERGY STORAGE MENGGUNAKAN MIXED-  
INTEGER QUADRATIC PROGRAMMING**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Departemen Teknik Elektro**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui:**

**Dosen Pembimbing I,**

**Dosen Pembimbing II,**

**Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.**

**NIP: 197411292000121001**

**Ir. Ni Ketut Arvani, M.T.**

**NIP: 196509011991032002**



# **Aliran Daya Optimal Dinamis dengan Mempertimbangkan Harga *Charging* dan *Discharging* Energy Storage Menggunakan *Mixed-Integer Quadratic Programming***

Nama Mahasiswa : Fiona Yolita Purnomo  
NRP : 2213100060  
Pembimbing I : Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.  
NIP : 197411292000121001  
Pembimbing II : Ir. Ni Ketut Aryani, MT.  
NIP : 196509011991032002

## **Abstrak:**

Perkembangan teknologi memungkinkan digunakannya *energy storage* sebagai solusi masalah manajemen energi karena integrasi energi terbarukan. Kemampuan *energy storage* untuk menyimpan daya (*charging*) dan menyalurkan daya (*discharging*) dapat dimanfaatkan untuk mengatasi sifat energi terbarukan yang *intermittent*. Pada penelitian ini, *energy storage* diintegrasikan ke dalam sistem *microgrid* dan dimodelkan sebagai generator dan beban. Selanjutnya, integrasi *energy storage* untuk mendapatkan keuntungan dipelajari lebih jauh dengan mempertimbangkan harga *charging* dan *discharging*. Perhitungan *Dynamic DC Optimal Power Flow (DDCOPF)* digunakan untuk mengoptimasi sistem dengan *energy storage* pada beban dinamis. Metode *Mixed-Integer Quadratic Programming* diaplikasikan menggunakan *software MATLAB* untuk menyelesaikan perhitungan *DDCOPF*. Simulasi dilakukan pada *IEEE 30 Bus Test System* yang telah dimodifikasi dengan pembangkit berjenis *microgrid*. Hasil dari perhitungan ini adalah daya keluaran generator dan *energy storage* dengan biaya pembangkitan minimum pada tiap level beban serta efek dari perbedaan harga *charging* dan *discharging* terhadap hal tersebut. Dari hasil simulasi dan analisis, perbedaan harga *charging* dan *discharging* menghasilkan biaya pembangkitan yang lebih tinggi 0.79% dibandingkan dengan penerapan harga sama. Selain itu, perbedaan harga tersebut meminimalisir penggunaan *energy storage*.

**Kata kunci:** baterai, *DDCOPF*, *microgrid*, *Mixed-Quadratic Programming*, harga *charging* dan *discharging*.

*[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]*



# **Dynamic Optimal Power Flow Considering Charging and Discharging Cost of Energy Storage Using Mixed-Integer Quadratic Programming**

Name : Fiona Yolita Purnomo  
NRP : 2213100060  
Supervisor I : Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.  
NIP : 197411292000121001  
Supervisor II : Ir. Ni Ketut Aryani, MT.  
NIP : 196509011991032002

## **Abstract:**

The development of technology makes it possible for energy storage utilization as solution for energy management problem due to renewable integration. The ability of energy storage to store and supply power can be used to solve intermittency problem of renewable energy. In this research, energy storage is integrated in a microgrid system and modelled as generator as well as load. Furthermore, integration of energy storage is researched deeper considering charging and discharging cost. Dynamic DC Optimal Power Flow (DDCOPF) calculation is used to optimize system with energy storage in fluctuated load. Mixed-Integer Quadratic Programming method is applied using MATLAB software to solve DDCOPF calculation. Simulation is done on IEEE 30 Bus Test System modified with microgrid as the power source. The output of this calculation are generation power and energy storage power in each period with minimum generation cost and the effect of different charging and discharging cost towards it. From the simulation and analysis, the different charging and discharging cost produce 0.79% higher in total generation cost compared to the same cost. In addition, the different charging and discharging cost also minimizes the energy storage usage in the system.

**Keywords: battery; DDCOPF; microgrid; Mixed-Integer Quadratic Programming; charging and discharging cost**

*[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan penelitian ini sebagai tugas akhir untuk menyelesaikan jenjang studi S1 pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Besar harapan penulis agar tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, khususnya mahasiswa Teknik Elektro.

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini saya mengucapkan terimakasih atas segala bantuan, bimbingan, cinta dan dukungan yang telah diberikan, kepada:

1. Bapak, Ibu, Dea Yovita atas segala doa, dukungan, nasehat, dan segalanya.
2. Dr. Rony Seto Wibowo ST., MT., selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir Ir. Ni Ketut Aryani, MT, selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang telah memberikan arahan, saran serta bimbingan selama pengerjaan tugas akhir dan selama perkuliahan di Teknik Elektro.
3. Prof. Ontoseno Penangsang, Bapak Dimas Fajar Uman, Bapak Suyanto, serta dosen-dosen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan banyak masukan dan pengetahuan kepada penulis.
4. Yoanes Bagus Nugraha Wigaswara atas waktu, dukungan dan ceritanya.
5. Mbak Annisaa Tara Dini, ST atas segala bimbingan, bantuan, dan semangatnya.
6. Rekan-rekan asisten Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga Listrik, Bagus, Icha, Bibur, Indra, Tufi, Febri, Mbak Dinda, Mas Aji, Mas Gilang serta teman-teman trainee.
7. Mas Deden, Mas Vicky, Mas Bas, Mbak Ozi, serta keluarga Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga Listrik lainnya.
8. Putri, Dea, Bella atas segala waktu dan keceriaannya.
9. Teman teman E53, atas segala suka dan duka. *E53 Asik-Asik Jos.*
10. Teman-teman di Departemen Prokesma Himatektro 2015 – 2016, Baihaqi, Nanda, Fathan, Bang Velix, Fauqi, Mila, Fahmi, Adit, Agung, Rusdy, Yakin, Rycho, dan Ahya atas segala dukungannya.

11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, dengan tanpa mengurangi rasa terimakasih penulis.

Dalam menyusun tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran dari pembaca sangat diharapkan untuk pengembangan penelitian dan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Juni 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>LEMBAR KEASLIAN</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan .....	3
1.5 Metode Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
1.7 Relevansi .....	5
<b>BAB 2 DYNAMIC OPF MEMPERTIMBANGKAN HARGA CHARGING DAN DISCHARGING ENERGY STORAGE</b>	
2.1 <i>Direct Current Optimal Power Flow</i> .....	7
2.1.1 <i>Studi Power Flow</i> .....	7
2.1.2 <i>DC Power Flow</i> .....	12
2.1.3 <i>Dynamic Current Optimal Power Flow</i> .....	12
2.2 <i>Microgrid</i> .....	15
2.2.1 <i>Photovoltaic</i> .....	16
2.2.2 <i>Micro Turbine</i> .....	16
2.2.3 <i>Diesel Generator</i> .....	17
2.2.4 <i>Perusahaan Listrik Negara</i> .....	17
2.2.5 <i>Energy Storage</i> .....	18
2.3 <i>Mixed Integer Quadratic Programming</i> .....	20
<b>BAB 3 DYNAMIC OPF MEMPERTIMBANGKAN HARGA CHARGING DAN DISCHARGING ENERGY STORAGE MENGGUNAKAN MIXED-INTEGER QUADRATIC PROGRAMMING</b>	

3.1	Algoritma.....	23
3.2	Penerapan <i>Mixed-Integer Quadratic Programming</i> pada <i>MATLAB</i> untuk Menyelesaikan Masalah <i>OPF</i> .....	25
3.2.1	<i>Mixed-Integer Quadratic Programming</i> pada <i>MATLAB</i> .....	25
3.2.2	Penerapan <i>Mixed Integer Quadratic Programming</i> pada <i>OPF</i> dengan <i>Energy Storage</i> .....	28
3.2.2.1	Penyusunan Koefisien Fungsi Objektif .....	29
3.2.2.2	Penyusunan Batasan Persamaan ( <i>Equality Constraints</i> ).....	31
3.2.2.3	Penyusunan Batasan Pertidaksamaan ( <i>Inequality Constraints</i> ).....	31
3.2.2.4	Penyusunan Batasan Kuadrat ( <i>Quadratic Constraints</i> ).....	33
3.2.2.5	Penyusunan <i>Decision Variabel Bounds</i> .....	36
<b>BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS</b>		
4.1	Data Plan.....	37
4.2	Simulasi.....	39
4.2.1	Skenario 1.....	39
4.2.1.1	Daya Terbangkit .....	40
4.2.1.2	Daya Saluran.....	42
4.2.1.3	Biaya Pembangkitan.....	42
4.2.2	Skenario 2.....	43
4.2.2.1	Daya Terbangkit .....	44
4.2.2.2	<i>SOC</i> dan Daya Keluaran Baterai.....	46
4.2.2.3	Daya Saluran.....	50
4.2.2.4	Biaya Pembangkitan.....	50
<b>BAB 5 PENUTUP</b>		
5.1	Kesimpulan.....	51
5.2	Saran.....	51
<b>LAMPIRAN</b> .....		53
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		109
<b>BIOGRAFI PENULIS</b> .....		111

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Sistem tenaga listrik.....	7
<b>Gambar 2.2</b>	Pemodelan bus tipikal dalam sistem tenaga .....	9
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram alir penyelesaian tugas akhir .....	23
<b>Gambar 3.2</b>	Sistem 3 bus sederhana dengan <i>energy storage</i> .....	28
<b>Gambar 4.1</b>	<i>Single Line Diagram</i> IEEE 30 Bus modifikasi.....	37
<b>Gambar 4.2</b>	Daya keluaran PV .....	39
<b>Gambar 4.3</b>	Profil beban harian untuk skenario 1 .....	40
<b>Gambar 4.4</b>	Daya terbangkit pada kasus 1a .....	41
<b>Gambar 4.5</b>	Daya terbangkit pada kasus 1b .....	41
<b>Gambar 4.6</b>	Profil beban harian untuk skenario 2 .....	43
<b>Gambar 4.7</b>	Daya terbangkit pada kasus 2a .....	45
<b>Gambar 4.8</b>	Daya terbangkit pada kasus 2b .....	45
<b>Gambar 4.9</b>	Daya terbangkit pada kasus 2c .....	46
<b>Gambar 4.10</b>	<i>SOC</i> baterai untuk masing-masing kasus .....	47
<b>Gambar 4.11</b>	Daya keluaran baterai pada kasus 2a .....	47
<b>Gambar 4.12</b>	Daya keluaran baterai pada kasus 2b .....	48
<b>Gambar 4.13</b>	Daya keluaran baterai pada kasus 2c .....	48

*[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]*



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 4.1</b>	Data saluran .....	38
<b>Tabel 4.2</b>	Data generator.....	38
<b>Tabel 4.3</b>	Parameter baterai .....	39
<b>Tabel 4.4</b>	Biaya pembangkitan tiap kasus pada skenario 1 .....	43
<b>Tabel 4.5</b>	Biaya pembangkitan tiap kasus pada skenario 2.....	50

*[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Meningkatnya jumlah permintaan energi listrik seiring dengan perkembangan jaman menyebabkan penyedia energi listrik dituntut untuk menyediakan pasokan energi listrik dalam jumlah yang cukup. Energi fosil banyak digunakan sebagai sumber energi listrik untuk memenuhi kebutuhan energi tersebut. Namun karena jumlahnya yang menipis, saat ini penggunaan energi fosil mulai dikurangi. Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, energi terbarukan mulai menjadi pilihan bagi masyarakat untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil.

Energi terbarukan banyak digunakan dan dikembangkan akhir-akhir ini karena jumlahnya yang melimpah, sifatnya yang bersih serta ramah lingkungan. Sumber energi terbarukan seperti angin, cahaya matahari, dan air dimanfaatkan dalam bentuk pembangkit tersebar (*microgrid*) untuk memenuhi kebutuhan beban, meningkatkan keandalan, dan sebagainya [3,4]. Karena letaknya pada sistem distribusi, penggunaan *microgrid* dinilai efektif untuk memanfaatkan energi terbarukan dalam rangka mengurangi rugi-rugi ekonomi. Pada kenyataannya, terdapat masalah dalam pengaplikasian sumber energi terbarukan pada sistem karena sifatnya yang *intermittent*. Sifat ini menyebabkan pembangkit dari sumber energi terbarukan menghasilkan daya yang berubah-ubah besarnya tergantung dari ketersediaan sumber energi.

Di sisi lain, jumlah beban pada sistem bersifat dinamis atau berubah-ubah setiap waktu. Pada kasus-kasus yang sering terjadi, daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik dengan sumber energi terbarukan sering tidak sesuai dengan permintaan beban yang berubah-ubah. Pembangkit-pembangkit tersebut cenderung menghasilkan daya yang kecil saat permintaan beban tinggi (*on peak*) dan menghasilkan daya yang besar saat permintaan beban rendah (*off peak*). Sehingga daya yang dihasilkan banyak yang terbuang pada periode *on peak*, sedangkan pada periode *off peak*, sistem cenderung kekurangan daya dalam memenuhi permintaan beban.

Untuk mengatasi sifat *intermittent* energi terbarukan tersebut, digunakan teknologi *energy storage*. Menurut [5], *energy storage* berbentuk baterai menyediakan solusi untuk permasalahan integrasi pembangkit energi terbarukan, perataan beban puncak, manajemen

kualitas daya dan dapat digunakan untuk mengatasi masalah *smart grid* lainnya. Pada penelitian ini, *energy storage* diintegrasikan ke dalam sistem untuk tujuan manajemen energi. *Energy storage* memiliki respon input-output yang cukup cepat sehingga dapat digunakan untuk menyimpan kelebihan daya dan menyalurkan kembali daya tersebut ke sistem. Penambahan *energy storage* ke dalam sistem menyebabkan diperlukan teknik optimasi manajemen energi yang berbeda daripada sebelumnya.

*Optimal Power Flow (OPF)* adalah perhitungan yang sering digunakan untuk mencari biaya pembangkitan sistem yang optimal dengan mempertimbangkan batasan aliran daya sistem. Dengan adanya kemampuan *energy storage* untuk menyimpan dan menyalurkan daya, dimungkinkan perhitungan OPF secara dinamis mengikuti perubahan level beban. Pada [6], *Dynamic OPF* diterapkan pada sistem dengan *energy storage* dan sumber energi terbarukan berbasis tenaga angin. Pada penelitian [2], penggunaan *energy storage* dalam sistem *microgrid hybrid* terbukti dapat mengurangi biaya pembangkitan. Pada penelitian ini, OPF dengan *energy storage* diteliti lebih jauh dengan mempertimbangkan biaya *charging* dan *discharging* pada sebuah sistem *microgrid*. Dengan menentukan biaya *charging* dan *discharging* yang berbeda, pemilik *energy storage* dapat menghasilkan profit dengan mengisi *energy storage* saat periode beban rendah (*off peak*) dan menjual kelebihan daya saat periode beban tinggi (*on peak*). Dari penelitian ini, diharapkan didapatkan biaya pembangkitan yang lebih murah dari sisi penyedia tenaga listrik serta didapatkan keuntungan dari sisi pemilik *energy storage*. Metode yang digunakan untuk optimasi sistem tersebut adalah *Mixed-Integer Quadratic Programming*.

## 1.2 Permasalahan

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana mengimplementasikan metode *Mixed-Integer Quadratic Programming* untuk perhitungan *OPF* pada sistem *microgrid* terintegrasi *energy storage*.
2. Bagaimana menentukan pembebanan optimal setiap unit pembangkit untuk memenuhi kebutuhan beban.
3. Bagaimana penjadwalan keadaan *energy storage* dengan mempertimbangkan biaya *charging* dan *discharging* saat terjadi pembebanan.

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Rugi pada saluran transmisi diabaikan.
2. Sistem kelistrikan dalam keadaan stabil.
3. Model sistem yang digunakan adalah IEEE 30 bus yang telah dimodifikasi.
4. Rugi umur baterai diabaikan.
5. Tidak memperhatikan peralatan elektronika daya.
6. Tidak memperhatikan penempatan baterai dan *Distributed Generator* yang optimal.
7. Simulasi menggunakan *software MATLAB*.
8. Tidak ada proses penjualan ke Perusahaan Listrik Negara.
9. Semua pembangkit diasumsikan terkoneksi ke sistem dan selalu beroperasi.

### 1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Megimplementasikan metode *Mixed-Integer Quadratic Programming* untuk perhitungan *OPF* dinamis arus searah pada sistem *microgrid* terintegrasi *energy storage*.
2. Mendapatkan pembebanan optimal setiap unit pembangkit untuk memenuhi kebutuhan beban.
3. Mendapatkan penjadwalan keadaan *energy storage* dengan mempertimbangkan biaya *charging* dan *discharging* saat terjadi pembebanan.

### 1.5 Metode Penelitian

Berikut adalah tahapan dalam pengerjaan tugas akhir ini ;

1. Studi literatur

Studi literatur dilakukan berdasarkan pada buku atau jurnal referensi yang berkaitan dengan *Dynamic Direct Current Optimal Power Flow*, *energy storage*, *micro grid*, dan *Mixed-Integer Quadratic Programming*.

2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan parameter-parameter yang dibutuhkan, yaitu data *plan* IEEE 30 Bus, data unit pembangkit, *energy storage*, dan profil

pembebanan selama 24 jam dengan interval 1 jam. Data unit pembangkit terdiri dari data PLN sebagai *grid*, data generator diesel, data *micro turbine*, serta data *photovoltaic*.

3. Perancangan Program

Program dirancang menggunakan *software* Matlab dengan mengaplikasikan *Mixed Integer Quadratic Programming* menggunakan *OPTI Toolbox* berdasarkan permasalahan dan batasan yang ada.

4. Simulasi dan Analisis

Simulasi dilakukan dengan membuat studi kasus. Studi kasus pertama adalah kondisi saat *energy storage* memiliki harga *charging* dan *discharging* nol. Studi kasus kedua merupakan kondisi dimana *energy storage* memiliki harga *charging* dan *discharging* yang sama. Sedangkan studi kasus yang ketiga adalah saat *energy storage* diberi harga *charging* dan *discharging* yang berbeda.

5. Penyusunan Laporan

Penulisan laporan dilakukan setelah keempat tahap-tahap tersebut telah dilakukan. Penulisan laporan dilakukan berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini disusun berdasarkan sistematika sebagai berikut :

BAB I	PENDAHULUAN
	Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, metode penelitian, dan relevansi.
BAB II	TINJAUAN PUSTAKA
	Bab ini berisi tentang <i>Dynamic DC Optimal Power Flow</i> , <i>Microgrid</i> , <i>Energy Storage</i> , dan <i>Mixed Integer Quadratic Programming</i> .
BAB III	ALIRAN DAYA DINAMIS MEMPERTIMBANGKAN HARGA CHARGING DAN DISCHARGING ENERGY STORAGE MENGGUNAKAN MIXED-INTEGER QUADRATIC PROGRAMMING

	Bab ini berisi tentang penerapan metode <i>Mixed-Integer Quadratic Programming</i> pada permasalahan aliran daya dengan <i>energy storage</i> .
BAB IV	SIMULASI DAN ANALISIS
	Bab ini berisi hasil dari simulasi aliran daya dinamis dengan <i>energy storage</i> menggunakan <i>Mixed-Integer Quadratic Programming</i> pada dua studi kasus yang berbeda. Selain itu, ditampilkan juga analisis dari hasil simulasi tersebut.
BAB V	PENUTUP
	Bab ini berisi kesimpulan dan saran. Kesimpulan diperoleh dari hasil pembahasan yang telah dilakukan dan menjawab permasalahan yang ada. Saran adalah rekomendasi untuk penelitian selanjutnya.

## 1.7 Relevansi

Penulisan laporan tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat, yaitu :

1. Sebagai acuan dalam pengaplikasian pembebanan pembangkit yang ekonomis pada *microgrid* dengan *energy storage*.
2. Sebagai acuan dalam penggunaan *energy storage* untuk mendapatkan keuntungan bagi pemilik *energy storage*.
3. Sebagai referensi untuk pengembangan penelitian terkait masalah serupa.

*[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]*



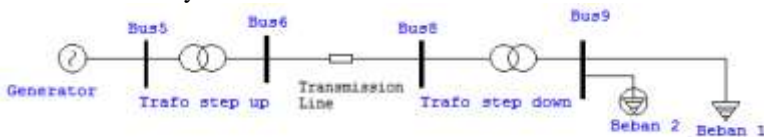
## BAB 2

# DYNAMIC OPF MEMPERTIMBANGKAN HARGA CHARGING DAN DISCHARGING ENERGY STORAGE MENGGUNAKAN MIXED INTEGER QUADRATIC PROGRAMMING

### 2.1 Direct Current Optimal Power Flow

#### 2.1.1 Studi Power Flow [7]

Sistem tenaga listrik, secara umum dibagi menjadi empat bagian, yaitu pembangkit, transmisi, distribusi dan beban. Pembangkit listrik merupakan komponen sistem yang berfungsi untuk membangkitkan daya listrik. Pada pembangkit listrik, biasanya digunakan generator sinkron atau alternator yang bervariasi kapasitasnya. Karena letak pembangkit umumnya jauh dari pusat beban, daya listrik yang terbangkit perlu dikirim ke pusat beban melalui saluran transmisi. Pada pusat beban, daya yang telah ditransmisikan akan didistribusikan ke konsumen sesuai dengan kebutuhan beban konsumen. Beban adalah istilah untuk komponen yang membutuhkan daya listrik.



**Gambar 2.1** Sistem tenaga listrik

Sistem tenaga direpresentasikan oleh *single line diagram* dan diasumsikan bekerja pada kondisi seimbang. Sistem tenaga umumnya tersusun oleh titik (bus) dan cabang dengan impedansi bernilai p.u pada base MVA. Persamaan jaringan dapat diformulasikan dalam berbagai bentuk, namun bentuk tegangan bus adalah metode yang sering digunakan pada analisa sistem tenaga. Analisa sistem tenaga yang paling mendasar adalah analisa aliran daya (*load flow / power flow*). Studi aliran daya bertujuan untuk mengetahui tegangan dan sudut fasa pada setiap bus serta untuk mengetahui besar daya yang mengalir pada tiap saluran. Beberapa parameter yang berkaitan pada studi ini untuk tiap bus adalah magnitude tegangan  $|V|$ , sudut fasa  $\theta$ , daya aktif  $P$ , dan daya reaktif  $Q$ .

Pada perhitungan ini, bus-bus sistem umumnya diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, yaitu :

a. *Slack Bus*

Pada *slack* atau *swing bus*, besar tegangan dan sudut fasa tegangan bernilai tetap. Bus ini mengkompensasi kekurangan daya pada sistem akibat dari *losses* di jaringan maupun kekurangan daya terbangkit dalam memenuhi kebutuhan beban.

b. *Load Bus* (PQ Bus)

Pada bus ini, daya aktif dan reaktif bernilai tetap. Besar tegangan dan sudut fasa merupakan besaran yang dihitung.

c. *Generator Bus* (PV Bus)

Pada generator bus, daya aktif dan besar tegangan bernilai tetap. Sudut fasa dan daya reaktif adalah besaran yang dihitung namun batas dari daya reaktif yang dibolehkan telah ditentukan sebelumnya.

Menurut hukum Kirchoff, hubungan arus dan tegangan pada suatu bus dapat dirumuskan sebagai :

$$I_{bus} = Y_{bus} V_{bus} \quad (2.1)$$

Apabila terdapat sebanyak  $n$  bus pada sistem, maka persamaan tegangan bus di atas dapat ditulis dalam bentuk matriks admitansi menjadi :

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_i \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1i} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2i} & \dots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Y_{i1} & Y_{i2} & \dots & Y_{ii} & \dots & Y_{in} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{ni} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_i \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

dimana :

- $I_i$  vektor arus yang mengalir pada titik bus- $i$
- $V_i$  vektor tegangan pada bus- $i$
- $Y_{ii}$  admintansi sendiri bus- $i$
- $Y_{ij}$  admitansi mutual dari bus- $i$  dan  $j$
- $N$  jumlah bus pada sistem

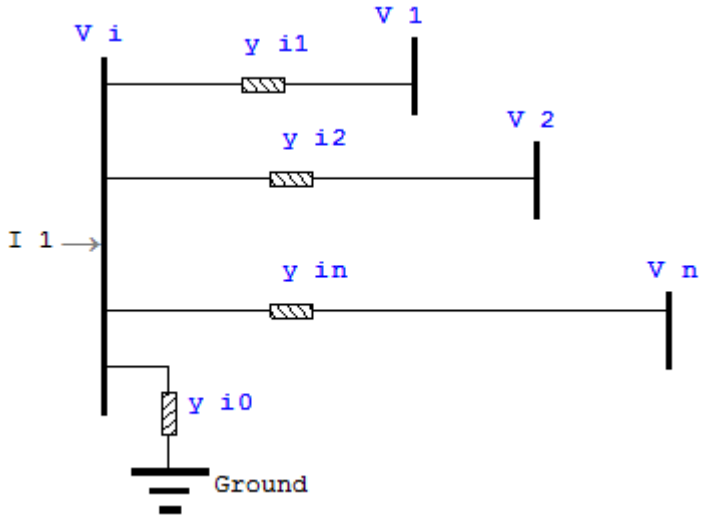
Admitansi sendiri dirumuskan sebagai :

$$Y_{ii} = \sum_{j=0}^n y_{ij} \quad \text{dan} \quad j \neq i \quad (2.3)$$

Sedangkan admitansi mutual dirumuskan sebagai,

$$Y_{ij} = Y_{ji} = -y_{ij} \quad (2.4)$$

dimana  $y_{ij}$  adalah admitansi antara bus- $i$  dan bus- $j$ .



**Gambar 2.2** Pemodelan bus tipikal dalam sistem tenaga

Pada **Gambar 2.2**, penerapan hukum KCL (*Kirchoff Current Law*) menghasilkan persamaan di bawah ini,

$$I_i = y_{io}V_i + y_{i1}(V_i - V_1) + y_{i2}(V_i - V_2) + \dots + y_{in}(V_i - V_n) \quad (2.5)$$

$$I_i = (y_{io} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in})V_i - y_{i1}V_1 - y_{i2}V_2 - \dots - y_{in}V_n \quad (2.6)$$

Persamaan di atas dapat dituliskan sebagai berikut,

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij}V_j \quad , \quad j \neq i \quad (2.7)$$

Daya aktif dan reaktif pada bus- $i$  adalah :

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (2.8)$$

atau

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (2.9)$$

Sehingga dengan mensubstitusikan persamaan (2.7) ke persamaan (2.9) didapatkan,

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad \text{dan} \quad j \neq i \quad (2.10)$$

Metode yang umum digunakan untuk memecahkan persamaan aliran daya adalah *Gauss Seidel*, *Newton Raphson*, *Fast Decoupled* dan lain sebagainya. Untuk mempercepat dan menyederhanakan perhitungan aliran daya, digunakan metode *Fast Decoupled*. Pada metode ini, diperlukan beberapa asumsi sebagai berikut :

- a. Perubahan daya aktif sistem terhadap perubahan besar tegangan diabaikan karena hampir tidak berpengaruh terhadap perubahan besar tegangan  $|V_i|$ .

$$\frac{\partial P_i}{\left(\frac{\partial |V_i|}{|V_i|}\right)} = 0 \quad (2.11)$$

- b. Perubahan daya reaktif sistem terhadap perubahan sudut fasa diabaikan, karena hampir tidak berpengaruh terhadap perubahan sudut fasa.

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \theta_j} = 0 \quad (2.12)$$

- c. Nilai perbedaan sudut fasa antara bus- $i$  dan bus- $j$  sangat kecil sehingga dapat dianggap nol, maka

$$\sin(\theta_i - \theta_j) \cong 0 \quad (2.13)$$

$$\cos(\theta_i - \theta_j) \cong 1 \quad (2.14)$$

- d. Jaringan transmisi umumnya memiliki perbandingan X/R yang tinggi, dengan demikian

$$G_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j) \ll B_{ij} \quad (2.15)$$

$$Q_i \ll B_{ii} |V_i|^2 \quad (2.16)$$

Berdasarkan asumsi asumsi diatas, maka elemen N dan J pada matriks Jacobian dapat diabaikan:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & 0 \\ 0 & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \frac{\Delta |V_j|}{|V_j|} \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

Sehingga diperoleh persamaan berikut:

$$\frac{\partial P_i}{\partial \theta_j} = -|V_i| |V_j| B_{ij} \quad (2.18)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\left(\frac{\partial |V_j|}{|V_j|}\right)} = -|V_i| |V_j| B_{ij} \quad (2.19)$$

$$\Delta P_i = -|V_i| |V_j| B_{ij} \Delta \theta_j \quad (2.20)$$

$$\Delta Q_i = -|V_i| |V_j| B_{ij} \frac{\Delta |V_j|}{|V_j|} \quad (2.21)$$

Dengan nilai  $|V_j| \cong 1$ , dan kedua persamaan dibagi dengan  $|V_i|$ , maka:

$$\frac{\Delta P_i}{|V_i|} = -B_{ij} \Delta \theta_j \quad (2.22)$$

$$\frac{\Delta Q_i}{|V_i|} = -B_{ij} \Delta |V_j| \quad (2.23)$$

Persamaan (2.22) kemudian dijadikan kedalam bentuk matriks, menjadi persamaan umum *Fast Decoupled*.

$$\begin{bmatrix} \frac{\Delta P_1}{|V_1|} \\ \frac{\Delta P_2}{|V_2|} \\ \vdots \end{bmatrix} = [B'] \begin{bmatrix} \Delta \theta_1 \\ \Delta \theta_2 \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

$$\begin{bmatrix} \frac{\Delta Q_1}{|V_1|} \\ \frac{\Delta Q_2}{|V_2|} \\ \vdots \end{bmatrix} = [B''] \begin{bmatrix} \Delta |V_1| \\ \Delta |V_2| \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

Dimana matriks  $B'$  dan  $B''$  adalah :

$$B'_{ij} = -\frac{1}{x_{ij}} \text{ dan } B'_{ii} = \sum_{j=1}^N \frac{1}{x_{ij}} \quad (2.26)$$

$$B''_{ij} = -B_{ij} = -\frac{x_{ij}}{r_{ij}^2 + x_{ij}^2} \text{ dan } B''_{ii} = \sum_{j=1}^N -\frac{x_{ij}}{r_{ij}^2 + x_{ij}^2} \quad (2.27)$$

### 2.1.2 DC Power Flow

Pada perhitungan aliran daya arus searah atau *DC Power Flow*, aliran daya reaktif diabaikan. Perhitungan ini merupakan penyederhanaan dari metode *Fast Decoupled* yang hanya mempertimbangkan daya aktif. Besar tegangan diasumsikan bernilai tetap, yaitu 1.0 pu. Persamaan (2.24) dapat ditulis menjadi

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \Delta P_2 \\ \vdots \end{bmatrix} = [B'] \begin{bmatrix} \Delta \theta_1 \\ \Delta \theta_2 \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

$$P_{ij} = \frac{1}{x_{ij}}(\theta_i - \theta_j) \quad (2.29)$$

$$P_i = \sum_j P_{ij} = \sum_j \frac{1}{x_{ij}}(\theta_i - \theta_j) \quad (2.30)$$

### 2.1.3 Dynamic Direct Current Optimal Power Flow [8, 9, 10]

*Optimal Power Flow (OPF)* merupakan perhitungan untuk mengoptimasi aliran daya suatu sistem tenaga listrik. Perhitungan ini mengombinasikan perhitungan *Economic Dispatch (ED)* dan *Power Flow (PF)*. Fungsi objektif yang dioptimasi dapat berupa biaya pembangkitan, rugi-rugi transmisi, perubahan daya pembangkitan, maupun fungsi lainnya. Terdapat bermacam-macam variabel kontrol yang dapat diatur dalam optimasi ini, diantaranya daya dan tegangan keluaran generator, posisi *tap changer* transformer, posisi *phase shift* transformer, pengaturan

*switching* kapasitor, injeksi daya reaktif pada *VAR compensator*, *load shedding*, dan aliran daya *DC*. Pada konteks ini, *OPF* dipakai untuk meminimalkan biaya pembangkitan dengan cara mengatur keluaran daya tiap generator yang terhubung ke sistem dengan mempertimbangkan batasan-batasan tertentu.

Beberapa metode yang sering digunakan untuk memecahkan masalah optimal *power flow* adalah metode *lambda iterasi*, metode gradien, metode Newton, *Linear Programming*, *Non-Linear Programming*, *Interior Point*, dan metode dekomposisi. Akhir-akhir ini, metode berbasis kecerdasan buatan banyak digunakan sebagai alternatif pemecahan masalah optimal *power flow*. Beberapa metode tersebut antara lain, *Differential Evolution*, *Particle Swarm Optimization*, *Tabu Search*, *Ant Colony Optimization*, *Firefly Algorithm*, *Genetic Algorithm*, dan lain-lain.

Permasalahan optimal *power flow* merupakan permasalahan yang rumit. Untuk menyederhanakan permasalahan dan mencari solusi dengan cepat, *DC Power Flow* lebih sering digunakan daripada *AC Power Flow* pada optimasi aliran daya. *OPF* dengan menggunakan *DC Power Flow* disebut dengan *DC OPF*. Pada perhitungan ini, aliran daya reaktif tidak diperhitungkan dan variabel yang dicari hanya menyangkut daya keluaran generator dan sudut fasa tegangan pada tiap bus.

*Optimal Power Flow* diaplikasikan pada satu level beban pada waktu tertentu. Pada kondisi beban dinamis, digunakan metode perhitungan *Dynamic Optimal Power Flow (DOPF)*. Output dari perhitungan ini adalah besar daya yang dibangkitkan tiap generator untuk memenuhi beban yang berubah tiap interval waktu tertentu dengan biaya pembangkitan paling murah dan memenuhi persamaan aliran daya serta batasan sistem.

Berikut adalah pemodelan matematis dari *Dynamic DC OPF* :

a. *Fungsi Objektif*

Fungsi Objektif pada *Dynamic DC OPF* adalah :

$$F = \text{Minimize} \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N F_{cost\ i}^t(P_i^t) \quad (2.31)$$

Fungsi ini meminimalkan total biaya pembangkitan selama  $T$  interval waktu tertentu. Fungsi objektif untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

$$F = \min \sum_{t=1}^T F(P_{pv})^t + F(P_{MT})^t + F(P_{DG})^t + F(P_{PLN})^t + F(P_{bat})^t \quad (2.32)$$

Dimana

$F(P_{pv})^t$	fungsi biaya pembangkitan PV untuk periode $t$
$F(P_{MT})^t$	fungsi biaya pembangkitan <i>micro turbine</i> untuk periode $t$
$F(P_{DG})^t$	fungsi biaya pembangkitan <i>diesel generator</i> untuk periode $t$
$F(P_{PLN})^t$	fungsi biaya listrik PLN untuk periode $t$
$F(P_{bat})^t$	fungsi biaya pembangkitan dari baterai untuk periode $t$

b. Batasan fungsi objektif tersebut adalah :

1) Batasan persamaan

*Keseimbangan daya aktif untuk setiap bus  $i$  dan waktu  $t$ ,*

$$P_{Gi}^t - P_{Line}^t - P_{load\ i}^t = 0 \quad (2.33)$$

$$P_{line\ ij}^t = \sum \frac{1}{x_{ij}} (\theta_i - \theta_j) \quad (2.34)$$

Dimana  $P_{Gen\ i}^t$  adalah daya yang dibangkitkan generator,  $P_{load\ i}^t$  adalah daya yang dibutuhkan beban dan  $P_{line}^t$  adalah daya pada saluran yang tersambung ke bus-  $i$ . Variabel  $x_{ij}$  adalah reaktansi saluran antara bus  $i$  dan bus  $j$ , sedangkan  $\theta_i$  dan  $\theta_j$  merupakan sudut tegangan bus  $i$  dan bus  $j$ .

2) Batasan pertidaksamaan

- *Aliran daya aktif pada saluran*

Untuk tiap saluran  $ij$ , besar daya saluran yang mengalir tidak boleh melebihi kapasitas saluran.

$$|P_{line\ ij}^t| \leq P_{line\ ij\ max} \quad (2.35)$$

- *Kapasitas daya aktif generator*



$$P_{Gi}^{min} \leq P_{Gi}^t \leq P_{Gi}^{max} \quad (2.36)$$

Untuk setiap unit generator  $i$ , daya yang dibangkitkan tidak boleh kurang dari batas bawah  $P_{Gi}^{min}$  dan melebihi batas atas  $P_{Gi}^{max}$

- *Ramp rate*

$$-R_i^{down} < P_{Gen\ i}^t - P_{Gen\ i}^{t-1} < R_i^{up} \quad (2.37)$$

Perubahan daya yang dibangkitkan tiap generator tidak boleh melebihi *ramp rate* generator tersebut.

## 2.2 Microgrid [11, 12, 13]

*Microgrid* diasumsikan sebagai sebuah sistem yang terdiri dari kelompok beban dan pembangkit berukuran mikro yang digunakan untuk mensuplai daya serta panas pada area tertentu. Pembangkit tersebut dapat berupa *photovoltaic* (PV), *wind turbine* (WT), *diesel generator* (DG), *micro turbine* (MT), atau *fuel cell* (FC). Tiap komponen pembangkit *microgrid* tersebut dimodelkan menurut karakteristiknya masing-masing.

*Microgrid* memiliki peranan yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Penggunaan *microgrid* telah berkembang secara luas untuk berbagai tujuan diantaranya untuk menanggung beban dasar, beban puncak, sebagai *back-up* daya, sebagai sumber listrik di daerah terpencil, serta untuk meningkatkan kualitas daya sistem. Dalam penggunaannya, terdapat dua jenis operasi *microgrid* yaitu *islanded* dan *grid-connected*. Pada mode *islanded*, *microgrid* tidak terhubung ke *main grid* sehingga pembangkit *microgrid* beroperasi secara mandiri untuk memenuhi kebutuhan sistem. Frekuensi dan tegangan sebagai parameter stabilitas sistem sangat diutamakan dalam mode operasi ini. Pada mode operasi *grid-connected*, *microgrid* terhubung dengan *main grid* melalui *point of commont coupling* (PCC). Hal ini memungkinkan kebutuhan sistem dipenuhi oleh *microgrid* dan *main grid*. Mode ini biasanya digunakan untuk meminimalkan harga, meningkatkan *power factor* di PCC, dan optimasi profil tegangan sistem.

Pada tugas akhir ini, digunakan *microgrid* dengan mode operasi *grid-connected*. Pembangkit yang digunakan adalah *photovoltaic*, generator diesel, *micro turbine*, PLN sebagai *grid* serta baterai sebagai

*energy storage*. Selain itu, sistem yang digunakan adalah IEEE 30 bus yang telah dimodifikasi.

### 2.2.1 Photovoltaic (PV)

*Photovoltaic* (PV) mengubah panas matahari menjadi listrik sehingga daya output sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca. Selain itu, daya output PV juga dipengaruhi oleh beberapa parameter lain seperti temperatur, iradiasi, serta karakteristik modul PV. Daya output PV dapat dirumuskan sebagai :

$$P_{pv} = M(P_{stc} \frac{G}{G_{stc}} (1 + k(T_c - T_r))) \quad (2.38)$$

Dimana:

$P_{pv}$	daya output (Watt)
$M$	jumlah modul PV
$P_{stc}$	rating daya pada saat <i>Standard Test Condition</i> (STC)
$G$	radiasi aktual ( $W/m^2$ )
$G_{stc}$	radiasi pada saat STC (bernilai $1000 W/m^2$ )
$k$	koefisien temperatur untuk daya modul ( $\%/^{\circ}C$ )
$T_c$	temperatur sel ( $^{\circ}C$ )
$T_r$	temperatur saat STC (bernilai $25^{\circ}C$ ).

Pada tugas akhir ini, digunakan array PV 900 WP yang terpasang di Gedung AJ Teknik Elektro ITS yang terdiri dari 8 modul *polycrystalline* 80 WP dan 4 modul *monocrystalline* 65 WP dengan merk OKI tipe DBF.

### 2.2.2 Micro Turbine

*Micro turbine* adalah turbin gas kecil yang memanfaatkan pembakaran bahan bakar gas dan cair untuk menghasilkan listrik. Prinsip kerja tersebut sama dengan prinsip kerja gas turbin konvensional. *Micro turbine* memiliki kecepatan yang tinggi dengan ukuran yang bervariasi dari 25 kW hingga 500 kW. Frekuensi nominal generator ini berada pada range 1.4-4 kHz. Frekuensi tersebut akan diubah ke nilai frekuensi listrik 50-60 Hz menggunakan konverter. Biaya pembangkitan *micro turbine* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$F(P_{MT}) = aP_{MT}^2 + bP_{MT} + c \quad (2.39)$$

Dimana

$F(P_{MT})$  biaya pembangkitan *micro turbine* (\$)

$P_{MT}$  daya output *micro turbine* (kW)

$a, b, \& c$  koefisien biaya *micro turbine*.

Parameter *microturbine* yang digunakan pada tugas akhir ini seperti pada [18].

### 2.2.3 Diesel Generator

*Diesel generator* sering digunakan untuk berbagai keperluan karena memiliki efisiensi dan keandalan yang tinggi. Umumnya *diesel generator* digunakan untuk *back-up* daya dan penyuplai beban puncak. *Diesel generator* memiliki ukuran yang bervariasi, mulai dari 1 kW hingga puluhan MW. Biaya pembangkitan *diesel generator* sangat dipengaruhi oleh harga bahan bakar dan dapat dimodelkan dalam fungsi kuadrat sebagai fungsi daya aktif. Berikut adalah fungsi biaya dari *diesel generator*:

$$F(P_{DG}) = aP_{DG}^2 + bP_{DG} + c \quad (2.40)$$

Dimana

$F(P_{DG})$  biaya pembangkitan *diesel generator* (\$)

$P_{DG}$  daya output *diesel generator* (kW)

$a, b, \& c$  koefisien biaya *diesel generator*.

Pada tugas akhir ini, digunakan 80 kW *Diesel Generator Set* merk *Cummins Power model C100 D2R* [22]

### 2.2.4 Perusahaan Listrik Negara

Perusahaan Listrik Negara (PLN) berperan sebagai *grid* dalam sistem *micro grid* pada tugas akhir ini. PLN dapat melayani daya yang tak terbatas, namun dalam penelitian ini daya yang dapat disuplai oleh PLN dibatasi oleh kapasitas trafo. Biaya pembangkitan PLN diasumsikan sebagai harga listrik yang dijual PLN ke pelanggan. Berikut adalah rumus biaya pembangkitan tersebut :

$$F(P_{PLN}) = \frac{\text{harga listrik/kWh dalam IDR}}{\text{kurs USD ke IDR}} \times P_{PLN} \quad (2.41)$$

Dimana

$F(P_{PLN})$

$P_{PLN}$

harga listrik

kurs USD ke IDR

harga listrik PLN (\$)

daya yang disuplai PLN (kW)

bernilai Rp 1.467,28/kWh [21]

Rp 13.333,33.

### 2.2.5 Energy Storage

*Energy storage* yang digunakan pada penelitian ini adalah baterai. Baterai memiliki kemampuan *charging* dan *discharging*. *Charging* adalah proses pengisian baterai sedangkan *discharging* adalah proses pengosongan baterai. Dengan adanya kemampuan *charging* dan *discharging* tersebut, *energy storage* dapat digunakan untuk menyimpan kelebihan daya saat periode beban rendah (*off peak*) dan menyalurkan kembali daya tersebut saat periode beban tinggi (*on peak*). *Energy storage* dimodelkan sebagai beban saat proses *charging* dan dimodelkan sebagai generator saat proses *discharging* berlangsung. Oleh karena itu, *energy storage* mempunyai biaya *charging* dan *discharging* sebagai layaknya beban dan generator [9]. Seiring dengan perkembangan jaman dan liberalisasi pasar, *energy storage* dapat digunakan untuk menghasilkan keuntungan. Dengan menetapkan harga *discharging* yang lebih tinggi daripada harga *charging*, pemilik *energy storage* dapat mendapatkan keuntungan dari integrasi *energy storage* dengan sistem.

Integrasi *energy storage* dengan sistem menyebabkan pemodelan permasalahan *OPF* menjadi berbeda daripada sebelumnya. Secara matematis, integrasi *energy storage* mempengaruhi batasan perhitungan *OPF*, antara lain :

#### a. Batasan *State of Charge (SOC)*

*State of Charge* atau kondisi muatan baterai pada tiap akhir periode ditentukan oleh penjumlahan kondisi periode sebelumnya dan daya pengisian atau pengosongan pada periode sekarang. Dengan mempertimbangkan efisiensi baterai, batasan ini dapat dituliskan sebagai berikut :

$$E^t = E^{t-1} + (P_{BC}^t \times \eta_c - \frac{P_{BD}^t}{\eta_D}) \times \Delta t \quad (2.42)$$

Pada penelitian kali ini, efisiensi charging  $\eta_c$  dan discharging  $\eta_d$  dianggap 100% dan baterai memiliki energi sebesar  $E^0$  pada kondisi awal. Sehingga persamaan di atas dapat ditulis sebagai :

$$E^t = E^0 - \sum_{t=1}^T P_{BD}^t - P_{BC}^t \quad (2.43)$$

$$E^T = E^{fin} \quad (2.44)$$

$$E^0 = E^{ini} \quad (2.45)$$

$E^T$  adalah energi pada periode akhir (T).

b. Batasan kapasitas

Energi yang tersimpan di baterai tidak boleh kurang dari kapasitas minimum ( $E_{SOC\ min}$ ) dan melebihi kapasitas maksimum baterai ( $E_{SOC\ max}$ ).

$$E_{SOC\ min} < E^t < E_{SOC\ max} \quad (2.46)$$

c. Batasan daya *charging* dan *discharging*

Pada model ini, *energy storage* diasumsikan bekerja pada salah satu keadaan pada tiap periode yaitu, *charging*, *discharging*, atau tidak keduanya. Keadaan kerja *energy storage* direpresentasikan dengan dua variabel biner, yaitu  $uc_i^t$  dan  $ud_i^t$ . Apabila *energy storage* pada keadaan *charging* pada periode t, maka  $uc_i^t = 1$  dan sebaliknya,  $ud_i^t = 0$ . Apabila *energy storage* pada keadaan *discharging* pada periode t, maka  $ud_i^t = 1$  dan sebaliknya,  $uc_i^t = 0$ . Sehingga batasan ini dapat dituliskan sebagai :

$$uc_i^t + ud_i^t \leq 1 \quad (2.47)$$

Pada model ini, apabila *energy storage* pada keadaan *charging* atau *discharging* pada periode t, daya *charging* dan *discharging* harus berada dalam batasan, atau dapat dituliskan sebagai:

$$0 \leq P_{bat(t)} \leq ud_i^t \cdot P_{discharge\ max} \quad (2.48)$$

$$uc_i^t \cdot P_{charge\ max} \leq P_{bat(t)} \leq 0 \quad (2.49)$$

$$t = 1, 2, 3, \dots T \quad (2.50)$$

Pada tugas akhir ini, digunakan baterai dengan kapasitas 30 kWh yang terdiri dari 7 unit baterai *lead acid* MT122050FT berkapasitas 205 Ah 12 V.

### 2.3 Mixed Integer Quadratic Programming

*Mixed-Integer Quadratic Programming* merupakan salah satu alternatif pemecahan masalah *OPF* [8]. *Mixed-Integer Quadratic Programming* adalah pengembangan dari metode *Quadratic Programming*. Berbeda dengan *Quadratic Programming*, pada *Mixed-Integer Quadratic Programming* dimungkinkan optimasi dilakukan menggunakan variabel berbentuk integer. Karena pemodelan matematis dari *energy storage* berhubungan dengan keadaan *charging/discharging* yang dimodelkan dengan angka biner, maka metode ini sesuai untuk diterapkan dalam memecahkan masalah tersebut.

Seperti pada *Quadratic Programming*, *Mixed-Integer Quadratic Programming* menyelesaikan permasalahan *non linear* dan memodelkannya ke dalam sebuah fungsi objektif. Metode ini mengoptimasi fungsi objektif dan mencari nilai variabel optimasi ( $x$ ) dengan memenuhi batasan persamaan (*equality constraint*) dan batasan pertidaksamaan (*inequality constraint*) yang *linear* serta batasan kuadrat (*quadratic constraints*). Pada metode ini, beberapa nilai  $x$  berbentuk bilangan bulat dan integer. Metode ini menghasilkan nilai  $x$  yang menghasilkan fungsi objektif dengan nilai minimum. Fungsi yang merupakan persamaan standar pada *Mixed-Integer Quadratic Programming* adalah sebagai berikut:

1. Fungsi Objektif

$$F(x) = \min \frac{1}{2} x^T H x + f^T x \quad (2.51)$$

2. Batasan Persamaan Linier

$$A_{eq} x = b_{eq} \quad (2.52)$$

3. Batasan Pertidaksamaan Linier

$$A x \leq b \quad (2.53)$$

4. Batasan Kuadrat

$$x^T Q x + l^T x \leq r \quad (2.54)$$

5. Batasan Penentuan Variabel

$$l_b \leq x \leq u_b \quad (2.55)$$

6. Batasan Integer

$$x_i \in Z \quad (2.56)$$

*[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]*

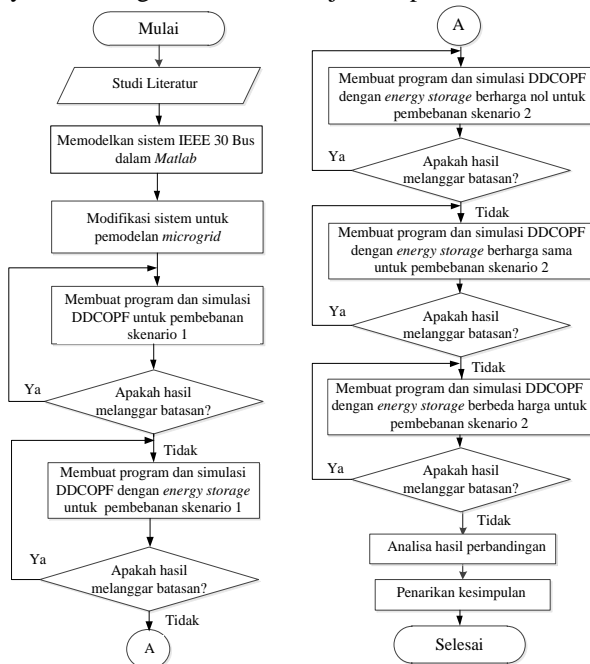


# BAB 3

## DYNAMIC OPF MEMPERTIMBANGKAN HARGA CHARGING DAN DISCHARGING ENERGY STORAGE MENGGUNAKAN MIXED INTEGER QUADRATIC PROGRAMMING

### 3.1 Algoritma

Pada tugas akhir ini, *Dynamic OPF* diselesaikan menggunakan metode *Mixed-Integer Quadratic Programming* dengan mempertimbangkan harga *charging* dan *discharging* yang berbeda. Pemodelan sistem dan simulasi dilakukan menggunakan *Toolbox OPTI* pada *software MATLAB*. Diagram alir dari algoritma yang digunakan dalam penyelesaian tugas akhir ini ditunjukkan pada **Gambar 3.1**.



**Gambar 3.1** Diagram alir penyelesaian tugas akhir

Pengerjaan tugas akhir ini dimulai dengan studi literatur. Studi literatur dilakukan untuk mengetahui konsep *DC OPF*, *energy storage*, serta *mixed-integer quadratic programming*. Dari studi literatur yang telah dilakukan, didapatkan data parameter yang diperlukan, yaitu data *cost function generator*, data saluran, data *energy storage*, serta data beban. Data-data tersebut diimplementasikan ke dalam sistem IEEE 30 Bus dengan pembangkit berskala *microgrid* yang terdiri dari *diesel generator*, *microturbine*, *photovoltaic*, dan *grid*. Selanjutnya, sistem tersebut dimodelkan menggunakan *software MATLAB*. Langkah selanjutnya adalah membuat program simulasi *DDCOPF* pada sistem tanpa *energy storage*. Pada skenario 1, pembebanan diatur tidak melebihi kapasitas maksimal generator konvensional untuk mengetahui efek penambahan *energy storage* pada sistem. Kemudian dilakukan modifikasi program dan simulasi dengan penambahan *energy storage* di sistem.

*Energy storage* dimodelkan sebagai beban saat *charging* dan sebagai generator saat *discharging*. Kondisi *energy storage* pada waktu tertentu tidak boleh di luar batas minimum dan maksimum *SOC energy storage*. *SOC energy storage* membatasi *energy storage* agar tidak *charging* secara terus menerus ataupun *discharging* secara terus menerus. Selain itu, terdapat batasan daya *charging* maksimum serta daya *discharging* maksimum untuk membatasi daya yang masuk maupun keluar dari *energy storage*.

Pada skenario 2, terdapat pembebanan yang diatur melebihi kapasitas generator konvensional. Pada skenario ini penggunaan *energy storage* ditujukan untuk mengatasi masalah *intermittent* energi terbarukan. Selanjutnya dilakukan simulasi *DDCOPF* dengan harga *charging* dan *discharging energy storage* yang diasumsikan bernilai nol. Cek performansi dilakukan untuk memeriksa apakah pemodelan telah sesuai dan hasil telah memenuhi *constraints OPF* dan *energy storage*.

Setelah itu, dilakukan perancangan program dan simulasi *DDCOPF* dengan batasan *energy storage* berharga sama. Harga *charging* dan *discharging energy storage* pada tahap ini diasumsikan bernilai sama. Selanjutnya, dilakukan pembuatan program dan simulasi *DDCOPF* dengan batasan harga *charging* dan *discharging energy storage* yang berbeda. Hasil dari simulasi program tersebut dibandingkan dan dianalisa. Parameter-parameter yang dianalisa adalah daya terbangkit pada masing-masing generator, daya terbangkit dan *SOC energy storage*, *ramp rate*, kapasitas saluran, serta total biaya pembangkitan.

Setelah mendapatkan hasil yang konvergen untuk tiap-tiap simulasi, dilakukan analisa hasil perbandingan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *energy storage* di sistem dan harga *charging* dan *discharging energy storage* yang berbeda terhadap pembangkitan tiap generator serta total biaya pembangkitan. Setelah itu dilakukan penarikan kesimpulan dari hasil analisa dan keseluruhan proses optimasi.

### **3.2 Penerapan *Mixed-Integer Quadratic Programming* pada *MATLAB* untuk Menyelesaikan Masalah *OPF***

#### **3.2.1 *Mixed-Integer Quadratic Programming* pada *MATLAB***

Untuk menyelesaikan permasalahan *Mixed-Integer Quadratic Programming (MIQP)* pada *MATLAB* digunakan *OPTI Toolbox*. Pada *Toolbox* ini, masalah *MIQP* diselesaikan menggunakan fungsi *Quadratic Programming* dengan integer variabel sebagai salah satu batasannya. Berikut adalah variabel input-output pada *MIQP*.

1. **H** adalah matriks simetris yang berisi koefisien kuadrat dan bilinear dari fungsi objektif. Pada *OPF*, matriks **H** berisi koefisien kuadrat dan bilinear dari fungsi biaya pembangkitan yang diminimalkan.
2. **f** adalah vektor baris yang berisi koefisien linear dari fungsi objektif. Pada *OPF*, vektor **f** adalah koefisien linear dari fungsi biaya pembangkitan.
3. **Aeq** adalah matriks yang berisi koefisien linear dari *equality constraints*.
4. **beq** adalah vector kolom yang berisi konstanta dari *equality constraints*.
5. **A** adalah matriks yang berisi koefisien linear dari *inequality constraints*.
6. **b** adalah vektor kolom yang berisi konstanta dari *inequality constraints*.
7. **Q** adalah matriks simetris yang berisi koefisien kuadrat dan bilinear dari *quadratic constraints*
8. **l** adalah vektor kolom yang berisi koefisien linear dari *quadratic constraints*

9. **r** adalah skalar yang menyatakan konstanta dari *quadratic constraints*. Apabila *quadratic constraints* memiliki batas atas dan batas bawah, maka skalar **qrl** (batas bawah) dan **gru** (batas atas) menggantikan skalar **r**.
10. **lb** dan **ub** adalah vektor kolom dari batas bawah dan batas atas untuk menentukan variabel **x**.
11. **xtype** merupakan string yang menyatakan jenis tiap variabel. Terdapat 2 jenis variabel yaitu 'C' yang menyatakan variabel bilangan real dan 'I' yang menyatakan variabel bilangan integer. Variabel-variabel input diatas akan diproses sehingga menghasilkan variabel-variabel output sebagai berikut :

1. **x** merupakan matriks yang berisi variabel hasil optimasi. Pada **OPF**, **x** terdiri dari sudut tegangan masing-masing bus dan daya yang dibangkitkan oleh masing-masing generator.
2. **fval** merupakan nilai total hasil fungsi objektif yang telah dioptimasi. Pada **OPF**, **fval** menunjukkan total nilai biaya pembangkitan dari seluruh generator yang minimum
3. **exitflag** merupakan kode yang digunakan untuk menunjukkan status dari proses optimasi. **Exitflag** bernilai 1 menunjukkan bahwa hasil optimasi konvergen sedangkan **exitflag** 0 menunjukkan hasil optimasi tidak konvergen.
4. **info** merupakan informasi tambahan yang menunjukkan detail dari proses optimasi. **info** berisi jenis solver yang digunakan, lama waktu optimasi, dan informasi lain mengenai proses optimasi.

Dalam memproses variabel-variabel tersebut, terdapat 2 fungsi yang berperan yaitu fungsi **opti** dan fungsi **solve**. Fungsi **opti** digunakan untuk membuat *OPTI Object* yang mendefinisikan variabel-variabel input. Sedangkan fungsi **solve** digunakan untuk menyelesaikan variabel-variabel dari permasalahan yang telah didefinisikan sebelumnya. Selain itu, diperlukan perintah (*sintaks*) yang berfungsi memanggil fungsi **opti** dan **solve** untuk menjalankan proses optimasi. Terdapat beberapa variasi model *sintaks* yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah *MIQP*. Penggunaan model sintaks tersebut disesuaikan dengan permasalahan dan batasan yang ingin diselesaikan.

Berikut adalah beberapa model sintaks untuk fungsi **opti** yang tersedia pada *OPTI Toolbox* :

1.  $Opt = opti('qp', Q, f, 'ineq', A, b, 'bounds', lb, ub, 'xtype', xtype)$

*Sintaks* ini mendefinisikan variabel input dengan fungsi objektif  $\min \frac{1}{2} x^T H x + f^T x$  dan *constraints linear* berbentuk  $Ax \leq b$  dengan batasan maksimum dan minimum dari variabel yang dicari yaitu **lb** dan **ub** serta tipe variabel yang telah didefinisikan pada variabel **xtype**.

2.  $Opt = opti('qp', Q, f, 'lin', A, rl, ru, 'bounds', lb, ub, 'xtype', xtype)$

*Sintaks* ini mendefinisikan variabel input seperti yang disebutkan sebelumnya namun dengan *constraints* berbentuk  $rl \leq Ax \leq ru$ .

3.  $Opt = opti('qp', Q, f, 'eq', Aeq, beq, 'ineq', A, b, 'bounds', lb, ub, 'xtype', xtype)$

*Sintaks* ini mendefinisikan variabel input seperti pada poin no.1 namun dengan tambahan *constraint* berbentuk persamaan linear  $A_{eq}x = b_{eq}$ .

4.  $Opt = opti('qp', Q, f, Aeq, beq, 'ineq', A, b, 'qc', Q, l, r, 'bounds', lb, ub, 'xtype', xtype)$

*Sintaks* ini mendefinisikan variabel input seperti pada poin no. 1 namun dengan tambahan *constraint* berbentuk persamaan kuadrat  $x^T Q x + l^T x \leq r$ .

5.  $Opt = opti('qp', Q, f, Aeq, beq, 'ineq', A, b, 'qc', Q, l, qrl, qru, 'bounds', lb, ub, 'xtype', xtype)$

*Sintaks* ini mendefinisikan variabel input seperti pada poin no. 4 namun *constraint* persamaan kuadrat berbentuk  $qrl \leq x^T Q x + l^T x \leq qru$ .

6.  $Opt = opti('qp', Q, f, Aeq, beq, 'ineq', A, b, 'qc', Q, l, qrl, qru, 'bounds', lb, ub, 'xtype', xtype, 'options', opts)$

*Sintaks* ini mendefinisikan variabel input seperti pada poin no. 5 dengan pengaturan optimasi khusus dari pilihan yang disediakan *Toolbox OPTI*. Dengan *sintaks* ini pengguna dapat mengatur parameter optimasi sesuai dengan

keinginannya. Variabel ini dapat diabaikan apabila tidak ada pengaturan optimasi khusus oleh pengguna.

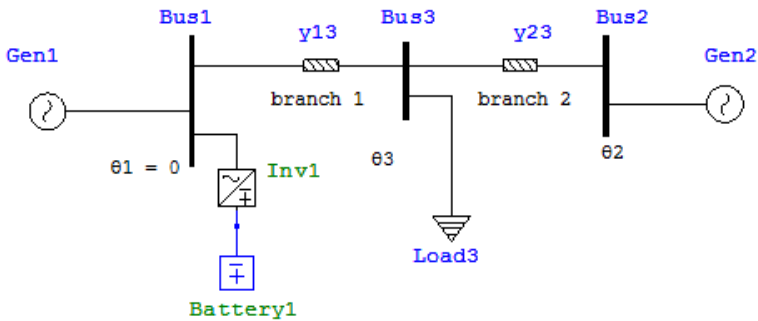
Sedangkan penyelesaian permasalahan tersebut dilakukan dengan fungsi **solve** yang dapat dituliskan dengan *sintaks* :

$$[x, fval, exitflag, info] = solve(Opt)$$

Fungsi di atas akan menyelesaikan permasalahan yang telah dibangun pada variabel **Opt** dan menampilkan variabel output hasil optimasi berupa **x**, **fval**, **exitflag**, serta **info**.

### 3.2.2 Penerapan Mixed Integer Quadratic Programming pada OPF dengan Energy Storage

Untuk menyederhanakan permasalahan, sebuah sistem 3 bus sederhana di bawah ini akan digunakan sebagai contoh implementasi *MIQP* pada permasalahan *OPF* dengan *energy storage*.



**Gambar 3.2** Sistem 3 bus sederhana dengan energy storage

Diasumsikan terdapat *energy storage* yang mempunyai batasan integer pada bus 1. Sama seperti pada *quadratic programming*, variabel  $x$  berperan sebagai variabel control yang pada permasalahan *DC OPF* merepresentasikan sudut tegangan tiap bus dan daya pembangkitan tiap generator pada tiap periode. Dengan adanya *energy storage*, 4 variabel ditambahkan pada  $x$  dimana 2 variabel merepresentasikan daya saat *discharging* dan *charging* serta 2 variabel lainnya merupakan variabel integer biner yang merepresentasikan status *discharging* dan *charging energy storage*. Sehingga apabila terdapat sejumlah  $nb$  bus,  $ng$  generator, dan  $ne$  *energy storage* dengan periode sebanyak  $t$ , maka jumlah variabel

control  $x$  sebanyak  $[nb+ng+4ne]*t$ . Untuk  $t = 1$ , variabel  $x$  dapat dituliskan sebagai matriks  $x^1$ . Untuk sistem 3 bus seperti di atas dengan  $t=2$ , variabel  $x$  dapat dituliskan sebagai matriks  $x^2$ .

$$x^1 = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \vdots \\ \theta_{nb} \\ P_{G1} \\ \vdots \\ P_{G_{ng}} \\ P_{discharge1} \\ P_{charge1} \\ ud_1 \\ uc_1 \\ \vdots \\ P_{discharge_{ne}} \\ P_{charge_{ne}} \\ ud_{ne} \\ uc_{ne} \end{bmatrix}, \quad x^2 = \begin{bmatrix} \theta_1^1 \\ \theta_2^1 \\ \theta_3^1 \\ P_{G1}^1 \\ P_{G2}^1 \\ P_{discharge}^1 \\ P_{charge}^1 \\ ud^1 \\ uc^1 \\ \theta_1^2 \\ \theta_2^2 \\ \theta_3^2 \\ P_{G1}^2 \\ P_{G2}^2 \\ P_{discharge}^2 \\ P_{charge}^2 \\ ud^2 \\ uc^2 \end{bmatrix}$$

### 3.2.2.1 Penyusunan Koefisien Fungsi Objektif

Koefisien fungsi objektif yang dalam permasalahan *OPF* merupakan fungsi biaya disusun ke dalam matriks **H** dan **f**. Matriks **H** merepresentasikan koefisien kuadrat dan bilinear sedangkan matriks **f** merepresentasikan koefisien linear dari fungsi biaya pembangkitan untuk masing-masing unit dalam periode  $t$ . Pada permasalahan *OPF* dengan *energy storage*, ukuran matriks **H** dapat dirumuskan sebagai :

$$[(nb + ng + 4ne) : (nb + ng + 4ne)] * t \quad (3.1)$$

Sedangkan ukuran matriks **f** dapat dirumuskan sebagai :

$$[(nb + ng + 4ne) : 1] * t \quad (3.2)$$

Untuk  $t = 1$ , sistem 3 bus di atas memiliki fungsi biaya sebagai berikut :

$$F(P^1) = a_1^1 (P_{G_1}^1)^2 + b_1^1 P_{G_1}^1 + c_1^1 + a_2^1 (P_{G_2}^1)^2 + b_2^1 P_{G_2}^1 + c_2^1 + ud^1 a_3^1 P_{discharge}^1 + uc^1 a_4^1 P_{charge}^1 \quad (3.3)$$

Sehingga koefisien persamaan tersebut dapat dituliskan dalam matriks **H** dan **f** sebagai :

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_1^1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_2^1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_3^1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_4^1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{f} = [0 \quad 0 \quad 0 \quad b_1^1 \quad b_2^1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

Untuk  $t$  periode, matriks **H** disusun secara diagonal sebanyak  $t$  kali. Sedangkan matriks **f** disusun sebanyak  $t$  kali sebagai matriks baris. Sebagai contoh, penyusunan matriks **H** dan **f** untuk contoh di atas dengan periode  $t = 2$  adalah

$$\mathbf{H} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline & & & 0 & \dots & 0 \\ \hline & & & \vdots & & \vdots \\ \hline & & & 0 & \dots & 0 \\ \hline 0 & \dots & 0 & & & \\ \hline \vdots & & \vdots & & & \\ \hline 0 & \dots & 0 & & & \\ \hline \end{array}$$

$$\mathbf{f} = \begin{array}{|c|c|} \hline \mathbf{f}^1 & \mathbf{f}^2 \\ \hline \end{array}$$



### 3.2.2.2 Penyusunan Batasan Persamaan (*Equality Constraints*)

Koefisien *equality constraint* ditulis pada matriks **Aeq** sedangkan matriks **beq** mewakili konstanta persamaan. Sistem 3 bus di atas memiliki batasan persamaan *active power balance* sebagai berikut:

$$(-y_{11}\theta_1 + 0 + y_{13}\theta_3)^1 + P_{G_1}^1 + 0 + ud^1P_{discharge}^1 + uc^1P_{charge}^1 = 0 \quad (3.5)$$

$$(0 + -y_{22}\theta_2 + y_{23}\theta_3)^1 + 0 + P_{G_2}^1 + 0 + 0 = 0 \quad (3.6)$$

$$(y_{13}\theta_1 + y_{23}\theta_2 - y_{23}\theta_3)^1 + 0 + 0 + 0 + 0 = P_{load\ 3}^1 \quad (3.7)$$

Sehingga matriks **Aeq** dan **beq** dapat dituliskan sebagai:

$$A_{eq} = \begin{bmatrix} -y_{11} & 0 & y_{13} & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & -y_{22} & y_{23} & 0 & 1 & 0 & 0 \\ y_{13} & y_{23} & -y_{33} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad b_{eq} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ P_{load\ 3}^1 \end{bmatrix}$$

Untuk  $t = 2$  matriks **Aeq** dan **beq** disusun seperti berikut:

$$A_{eq} = \begin{bmatrix} A_{eq}^1 \\ A_{eq}^2 \end{bmatrix}, \quad b_{eq} = \begin{bmatrix} b_{eq}^1 \\ b_{eq}^2 \end{bmatrix}$$

### 3.2.2.3 Penyusunan Batasan Pertidaksamaan (*Inequality Constraints*)

*Inequality constraints* pada *OPF* merupakan batasan saluran pada sistem. Selain itu, terdapat pertidaksamaan untuk batasan integer yang menyatakan status *discharging* dan *charging energy storage* pada waktu tertentu. Sehingga untuk contoh sistem 3 bus, batasan pertidaksamaannya adalah:

a. *Power active balance from bus to branch i*

$$P_{to\ branch\ 1} \rightarrow y_{13}\theta_1 - y_{13}\theta_3 \leq P_{line\ 13\ max} \quad (3.8)$$

$$P_{to\ branch\ 2} \rightarrow y_{23}\theta_2 - y_{23}\theta_3 \leq P_{line\ 23\ max} \quad (3.9)$$

b. *Power active balance from branch i to bus*

$$P_{from\ branch\ 1} \rightarrow -y_{13}\theta_1 + y_{13}\theta_3 \leq P_{line\ 13\ max} \quad (3.10)$$

$$P_{from\ branch\ 2} \rightarrow -y_{23}\theta_2 + y_{23}\theta_3 \leq P_{line\ 23\ max} \quad (3.11)$$

c. *Discharging and charging status*

$$uc_i^t + ud_i^t \leq 1 \quad (3.12)$$

Koefisien persamaan-persamaan tersebut dapat dituliskan ke dalam matriks **A** dan **b** menjadi :

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} y_{13} & 0 & -y_{13} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & y_{23} & -y_{23} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -y_{13} & 0 & y_{13} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -y_{23} & y_{23} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{b} = \begin{bmatrix} P_{13}^1 \\ P_{23}^1 \\ P_{13}^1 \\ P_{23}^1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Selain itu, terdapat *ramp rate constraint* yang termasuk dalam *inequality constraint*. Persamaan *ramp rate* untuk contoh di atas dapat dituliskan sebagai :

$$-R_1^{down} < P_{G1}^t - P_{G1}^{t-1} < R_1^{up} \quad (3.13)$$

$$-R_2^{down} < P_{G2}^t - P_{G2}^{t-1} < R_2^{up} \quad (3.14)$$

Persamaan di atas dapat dituliskan ke dalam matriks sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &ARR \\ = &\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ &bRR = \begin{bmatrix} R_1^{up} \\ R_2^{up} \\ R_1^{down} \\ R_2^{down} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Untuk menyederhanakan penyusunan matriks, *ramp rate constraint* ditambahkan ke dalam matriks **A** dan **b** pada bagian akhir setelah semua *inequality constraint* untuk periode  $t$  tersusun. Untuk  $t = 2$  matriks **A** dan **b** disusun seperti berikut:

$$A = \begin{bmatrix} A^1 \\ A^2 \\ ARR \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} b^1 \\ b^2 \\ bRR \end{bmatrix}$$

### 3.2.2.4 Penyusunan Batasan Kuadrat (*Quadratic Constraints*)

Pada permasalahan *OPF* dengan *energy storage*, *power balance* antara beban dan generator serta batasan *SOC energy storage* merupakan batasan yang berbentuk persamaan kuadrat. Berikut adalah batasan persamaan kuadrat untuk sistem 3 bus:

a. *Generator-load power balance*

$$P_{G_1}^1 + P_{G_2}^1 + uc^1 \cdot P_{charge} + ud^1 \cdot P_{discharge} = P_{total\ load} \quad (3.15)$$

Persamaan di atas dapat disusun ke dalam matriks **Q**, **l**, **qrl**, dan **qru** sebagai berikut:

$$Q_1^1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$l_1^1 = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$$qrl_1^1 = qru_1^1 = [P_{load\ total}^1]$$

Untuk  $t = 2$ , matriks di atas ditulis sebanyak 2 kali seperti berikut:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{Q}_1 &= \begin{array}{|c|ccc|ccc|} \hline & & & & 0 & \dots & 0 \\ \hline & & & & \vdots & & \vdots \\ \hline & & & & 0 & \dots & 0 \\ \hline 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \hline \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \hline 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \hline \end{array} \\
 \mathbf{l}_1 &= \begin{array}{|cccccc|} \hline & & & & 0 & \dots & 0 \\ \hline \end{array} \\
 \mathbf{qrl}_1 &= \mathbf{qru}_1 = [P_{load\ total}^1] \\
 \mathbf{Q}_2 &= \begin{array}{|ccc|ccc|} \hline 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \hline \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \hline 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \hline 0 & \dots & 0 & & & \\ \hline \vdots & & \vdots & & & \\ \hline 0 & \dots & 0 & & & \\ \hline \end{array} \\
 \mathbf{l}_2 &= \begin{array}{|ccc|ccc|} \hline & & & 0 & \dots & 0 \\ \hline & & & & & l_1^1 \\ \hline \end{array} \\
 \mathbf{qrl}_2 &= \mathbf{qru}_2 = [P_{load\ total}^2]
 \end{aligned}$$

b. *SOC of energy storage*

$$E_{SOC\ min} < E_0 - \sum_{t=1}^T P_{discharge(t)} - P_{charge(t)} < E_{SOC\ max} \quad (3.16)$$

Matriks  $\mathbf{H}$ ,  $\mathbf{l}$ ,  $\mathbf{qrl}$ , dan  $\mathbf{qru}$  dari batasan *SOC energy storage* adalah:

$$\mathbf{Q}_{soc}^1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$l_{soc}^1 = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

$$qrl_{soc}^1 = [E_{soc \ min} - E_0]$$

$$qru_{soc}^1 = [E_{soc \ max} - E_0]$$

Untuk  $t = 2$ , matriks tersebut harus ditulis sebanyak 2 kali seperti di bawah ini:

$$Q_{soc}^1 = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline & & 0 & \dots & 0 \\ \hline & Q_{soc}^1 & \vdots & & \vdots \\ \hline & & 0 & \dots & 0 \\ \hline 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \hline \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \hline 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \hline \end{array}$$

$$l_{soc}^2 = \begin{array}{|c|c|} \hline l_1^1 & 0 \dots 0 \\ \hline \end{array}$$

$$qrl_{soc}^1 = [E_{soc \ min} - E_0]$$

$$qru_{soc}^1 = [E_{soc \ max} - E_0]$$

$$Q_{soc}^2 = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline & & 0 & \dots & 0 \\ \hline & Q_{soc}^1 & \vdots & & \vdots \\ \hline & & 0 & \dots & 0 \\ \hline 0 & \dots & 0 & & & & \\ \hline \vdots & & \vdots & & & & \\ \hline 0 & \dots & 0 & & & & \\ \hline & & & Q_{soc}^1 & & & \\ \hline \end{array}$$

$$l_{soc}^2 = \begin{array}{|c|c|} \hline l_1^1 & l_1^2 \\ \hline \end{array}$$

$$qrl_{soc}^2 = [E_{soc \ min} - E_0]$$

$$qru_{soc}^2 = [E_{soc \ max} - E_0]$$

Sehingga matriks batasan kuadrat dapat dituliskan secara utuh sebagai berikut:

$$\mathbf{Q} = \{\mathbf{Q}_1, \mathbf{Q}_2, \mathbf{Q}_{soc}^1, \mathbf{Q}_{soc}^2\},$$

$$\mathbf{l} = \begin{pmatrix} l_1 \\ l_2 \\ l_{soc}^1 \\ l_{soc}^2 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{qrl} = \begin{pmatrix} qrl_1 \\ qrl_2 \\ qrl_{soc}^1 \\ qrl_{soc}^2 \end{pmatrix}, \quad \text{dan} \quad \mathbf{qru} = \begin{pmatrix} qru_1 \\ qru_2 \\ qru_{soc}^1 \\ qru_{soc}^2 \end{pmatrix}$$

### 3.2.2.5 Penyusunan *Decision Variable Bounds*

Batas bawah dan batas atas dari variabel optimasi direpresentasikan dengan vektor baris **lb** dan **ub**. Dari contoh di atas, vektor **lb** dan **ub** untuk  $t = 1$  dapat dinyatakan sebagai :

$$\mathbf{lb}^1 = \begin{bmatrix} \theta_1^1 \min \\ \theta_2^1 \min \\ \theta_3^1 \min \\ P_{G_1}^1 \min \\ P_{G_2}^1 \min \\ P_{discharge}^1 \min \\ P_{charge}^1 \min \\ ud_{min}^1 \\ uc_{min}^1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{ub}^1 = \begin{bmatrix} \theta_1^1 \max \\ \theta_2^1 \max \\ \theta_3^1 \max \\ P_{G_1}^1 \max \\ P_{G_2}^1 \max \\ P_{discharge}^1 \max \\ P_{charge}^1 \max \\ ud_{max}^1 \\ uc_{max}^1 \end{bmatrix}$$

Dimana  $\theta_1^1 \min$  bernilai  $-\inf$  sedangkan  $\theta_1^1 \max$  bernilai  $\inf$  serta  $ud_{min}^1$  dan  $uc_{min}^1$  bernilai 0 sedangkan  $ud_{max}^1$  dan  $uc_{max}^1$  bernilai 1. Untuk  $t = 2$ , penyusunan vektor **lb** dan **ub** dapat dituliskan sebagai berikut

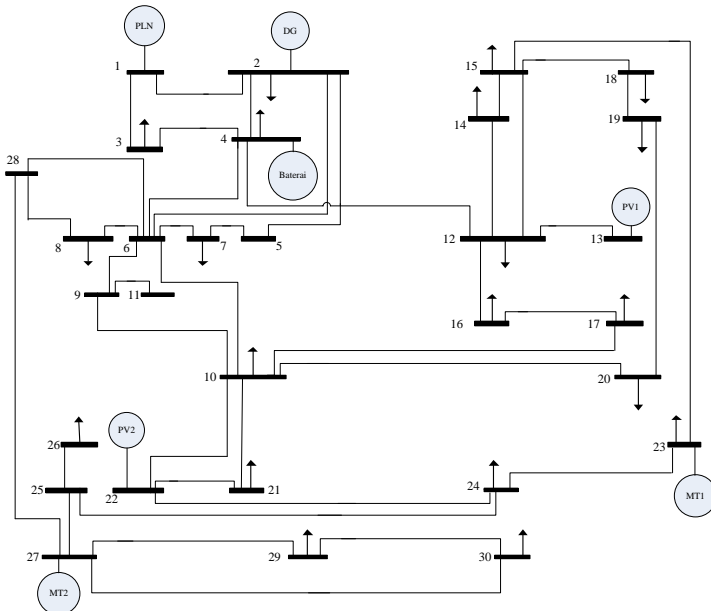
$$\mathbf{lb} = \begin{array}{|c|} \hline lb^1 \\ \hline lb^2 \\ \hline \end{array} \quad \mathbf{ub} = \begin{array}{|c|} \hline ub^1 \\ \hline ub^2 \\ \hline \end{array}$$

## BAB 4

### SIMULASI DAN ANALISIS

#### 4.1 Data Plan

Program Dynamic DC OPF yang telah dibuat disimulasikan pada sistem IEEE 30 bus dengan pembangkit *microgrid*. Pembangkit yang digunakan terdiri dari grid, generator diesel, *photovoltaic*, dan *microturbine* dengan *SLD* seperti pada **Gambar 4.1** dan data saluran seperti pada **Tabel 4.1**. Parameter generator dan baterai yang dipakai seperti pada **Tabel 4.2** dan **Tabel 4.3**. Sedangkan **Gambar 4.2** merupakan daya keluaran dari PV.



**Gambar 4.1** Single Line Diagram IEEE 30 Bus modifikasi

**Tabel 4.1** Data saluran

Dari Bus	Ke Bus	X (p.u)	Kapasitas Saluran (kw)	Dari Bus	Ke Bus	X (p.u)	Kapasitas Saluran (kw)
1	2	0.06	130.0	15	18	0.22	16.000
1	3	0.19	130.0	18	19	0.13	16.000
2	4	0.17	65.0	19	20	0.07	32.000
3	4	0.04	130.0	10	20	0.21	32.000
2	5	0.2	130.0	10	17	0.08	32.000
2	6	0.18	65.0	10	21	0.07	32.000
4	6	0.04	90.0	10	22	0.15	32.000
5	7	0.12	70.0	21	22	0.02	65.000
6	7	0.08	130.0	15	23	0.2	16.000
6	8	0.04	65.0	22	24	0.18	16.000
6	9	0.21	65.0	23	24	0.27	16.000
6	10	0.56	32.0	24	25	0.33	32.000
9	11	0.21	65.0	25	26	0.38	16.000
9	10	0.11	65.0	25	27	0.21	32.000
4	12	0.26	65.0	28	27	0.4	65.000
12	13	0.14	65.0	27	29	0.42	16.000
12	14	0.26	32.0	27	30	0.6	16.000
12	15	0.13	32.0	29	30	0.45	16.000
12	16	0.2	32.0	8	28	0.2	32.000
14	15	0.2	16.0	6	28	0.06	32.000
16	17	0.19	16.0				

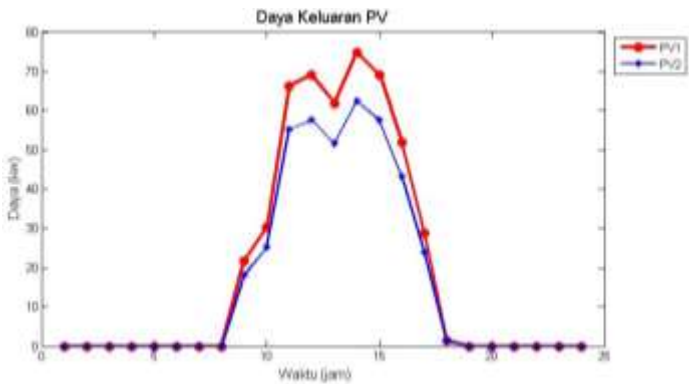
**Tabel 4.2** Data generator [16, 18, 20, 21]

Tipe Pembangkit	PLN	DG	PV 1	PV 2	MT1	MT2
Bus	1	2	13	22	23	27
Jumlah Unit	1	1	120 (array)	100 (array)	1	1
P max	100	80	74.88	62.4	20	50
P min	10	10	0	0	10	10
Ramp Rate	10	10	-	-	5	7
a (\$/kw <sup>2</sup> h)	0	$6785 \cdot 10^{-8}$	0	0	$2251 \cdot 10^{-6}$	$108 \cdot 10^{-5}$
b (\$/kwh)	0.11	0.214	0	0	$22508 \cdot 10^{-6}$	$27009 \cdot 10^{-6}$
c (\$/h)	0	0.67875	0	0	$216072 \cdot 10^{-6}$	1.08036



**Tabel 4.3** Parameter baterai

Kapasitas (kw)	30
P discharging max (kw)	6
P charging max (kw)	3
SOC awal	50%
SOC min	20%
SOC max	100%



**Gambar 4.2** Daya Keluaran PV

**4.2 Simulasi**

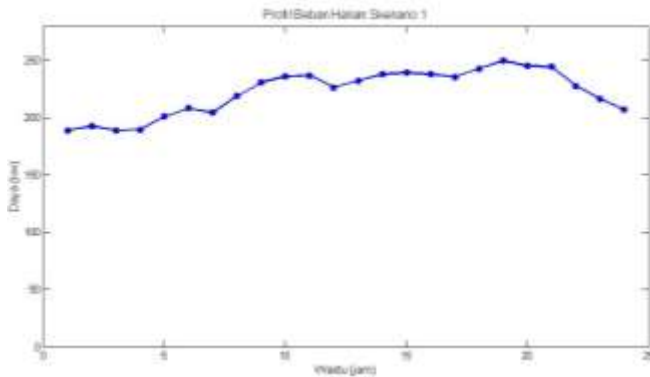
Untuk mengetahui efek penambahan baterai, dilakukan simulasi terhadap dua kurva beban yang berbeda. Pada skenario 1, kurva beban yang digunakan mempunyai beban puncak yang tidak melebihi kapasitas maksimal generator konvensional sedangkan pada skenario 2, digunakan kurva beban yang memiliki beban puncak lebih dari total kapasitas generator konvensional. Berikut adalah penjelasan dari masing-masing skenario.

**4.2.1 Skenario 1**

Pada skenario 1, simulasi dilakukan untuk mengetahui efek penambahan baterai pada sistem terhadap daya terbangkit dan total biaya pembangkitan. Program *OPF* yang telah dibuat diaplikasikan pada dua studi kasus, yaitu

- a. Kasus 1a : Pada kasus ini digunakan sistem tanpa baterai sebagai plan. Pembebanan pada setiap jam diatur agar tidak melebihi total kapasitas maksimal dari generator konvensional.
- b. Kasus 1b : Pada kasus ini, simulasi dilakukan pada sistem dengan integrasi baterai. Baterai dimodelkan sebagai generator saat *charging* dan sebagai beban saat *discharging* tanpa adanya biaya pembangkitan maupun biaya konsumsi daya. Selain itu, Pembebanan pada setiap jam diatur agar tidak melebihi total kapasitas maksimal dari generator konvensional.

Kurva beban yang digunakan dalam skenario ini ditunjukkan pada **Gambar 4.3**. Nilai beban minimal pada skenario ini sebesar 189.200 kw sedangkan nilai maksimumnya sebesar 249.93 kw.

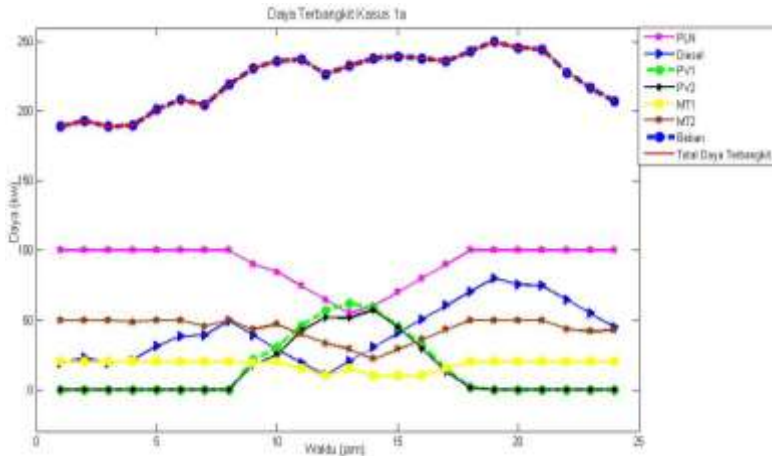


**Gambar 4.3** Profil beban harian untuk skenario 1

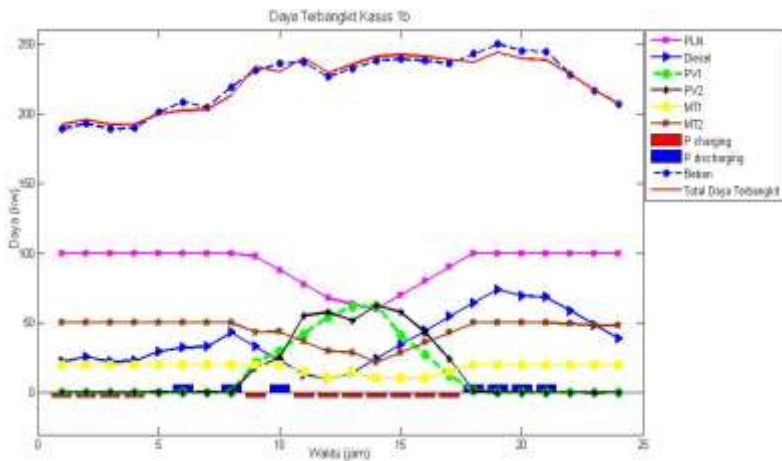
Data hasil simulasi dari ketiga studi kasus kemudian dianalisis. Parameter analisis yang digunakan meliputi daya terbangkit dari masing-masing generator, daya saluran, serta biaya pembangkitan. Berikut adalah analisis dari masing-masing parameter.

#### 4.2.1.1 Daya Terbangkit

Daya terbangkit untuk masing-masing kasus dapat dilihat pada **Gambar 4.4 – 4.5**.



**Gambar 4.4** Daya terbangkit kasus 1a



**Gambar 4.5** Daya terbangkit kasus 1b

Validasi daya terbangkit dilakukan dengan membandingkan total daya terbangkit generator dan baterai terhadap permintaan beban, membandingkan daya terbangkit dengan kapasitas pembangkitan generator, serta membandingkan perubahan daya tiap periode dengan batasan *ramp rate*. Total daya terbangkit untuk masing-masing studi

kasus adalah sama, yaitu 5343.311 kw. Daya tersebut telah memenuhi permintaan beban pada tiap periode dengan total beban yaitu 5343.311 kw. Dari hasil simulasi, daya keluaran tiap generator tidak melanggar batasan kapasitas generator dan perubahan daya keluaran generator tidak melanggar batasan *ramp-rate*.

Daya terbangkit dari PLN dan *micro turbine* digunakan semaksimal mungkin pada pagi dan malam hari. Sedangkan saat siang hari, permintaan beban dipenuhi dengan suplai daya dari PV yang biaya pembangkitannya nol. Suplai daya oleh kedua *array* PV ini membuat daya keluaran dari generator lainnya turun. Sedangkan generator diesel menghasilkan daya yang berubah-ubah sesuai dengan fluktuasi beban dan bertindak sebagai *peaker* karena biaya pembangkitannya paling mahal daripada generator lainnya. Pada kasus 1a, daya keluaran generator konvensional lebih tinggi, dengan total daya 4640.953 kw sedangkan pada kasus 1b hanya 4583.471 kw. Di sisi lain, dengan adanya baterai, daya keluaran PV lebih tinggi pada kasus 1b. Daya keluaran PV pada kasus 1a sebesar 702.358 kw sedangkan pada kasus 1b sebesar 750.840 kw. Pada kasus 1a daya keluaran PV digunakan secara langsung untuk memenuhi kebutuhan beban sedangkan pada kasus 1b, kelebihan daya dari PV akan disimpan oleh baterai untuk digunakan pada periode selanjutnya. Selain itu, dengan adanya baterai di sistem, perubahan daya keluaran tiap jam lebih rendah daripada tanpa baterai. Hal ini ditunjukkan oleh kurva daya keluaran yang lebih landai.

#### **4.2.1.2 Daya Saluran**

Validasi daya saluran dilakukan dengan membandingkan daya yang mengalir tiap saluran dengan kapasitas saluran. Untuk masing-masing kasus, daya yang mengalir pada tiap saluran tidak ada yang melebihi batas kapasitas saluran. Daya yang mengalir di saluran tergantung pada daya terbangkit masing-masing generator. Hal ini menyebabkan terdapat perbedaan daya saluran pada kedua kasus karena daya terbangkit masing-masing kasus berbeda. Secara lebih rinci, daya saluran untuk masing-masing kasus dapat dilihat pada Lampiran.

#### **4.2.1.3 Biaya Pembangkitan**

Dari hasil simulasi, dengan adanya integrasi baterai pada sistem, didapatkan penurunan biaya pembangkitan sebesar 2.77%. Secara

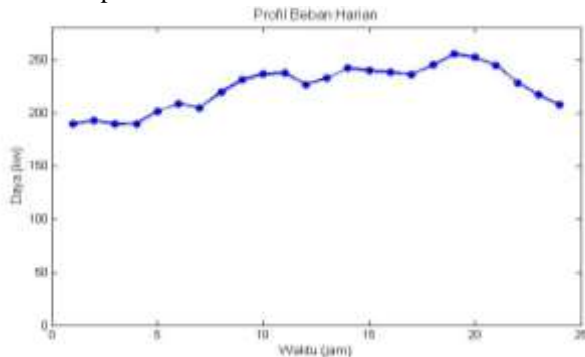
lengkap, biaya pembangkitan untuk masing-masing kasus pada skenario ini dapat dilihat pada **Tabel 4.4**

**Tabel 4.4** Biaya pembangkitan tiap kasus pada skenario 1

Kasus 1a	Kasus1b
\$ 610.562	\$ 593.602

#### 4.2.2 Skenario 2

Untuk skenario 2, program *OPF* disimulasikan untuk periode 24 jam dengan kurva beban Jawa-Bali yang telah modifikasi seperti pada **Gambar 4.6**. Nilai minimum pembebanan sebesar 189.200 kw sedangkan nilai maksimum pembebanan sebesar 255.231 kw.



**Gambar 4.6** Profil beban harian untuk skenario 2 [9]

Untuk mengetahui pengaruh harga *charging* dan *discharging* baterai, program tersebut diaplikasikan pada 3 studi kasus yaitu pada sistem terintegrasi baterai dengan harga *charging* dan *discharging* nol, harga *charging* dan *discharging* sama, serta harga *charging* dan *discharging* berbeda.

a. Kasus 2a : Harga *charging* dan *discharging* nol

Pada studi kasus ini, baterai dimodelkan sebagai generator saat *charging* dan sebagai beban saat *discharging* tanpa adanya biaya pembangkitan maupun biaya konsumsi daya. Baterai diasumsikan dimiliki oleh pemilik *microgrid* sehingga tidak ada biaya yang

diterima maupun dikeluarkan oleh pemilik saat baterai *discharging* maupun *charging*.

b. Kasus 2b : Harga *charging* dan *discharging* sama

Pada studi kasus ini, baterai dimodelkan sebagai generator saat *charging* dan sebagai beban saat *discharging* dengan adanya biaya pembangkitan maupun biaya konsumsi daya. Baterai diasumsikan dimiliki oleh pihak ketiga yang akan membeli daya saat *charging* dan menjual daya saat *discharging* dengan harga sama. Harga *charging* dan *discharging* baterai ditentukan bernilai sama dengan harga listrik dari PLN yaitu 0.1\$/kwh. Sehingga keuntungan yang didapat sebanding dengan perbedaan daya *discharging* dan *charging* tersebut.

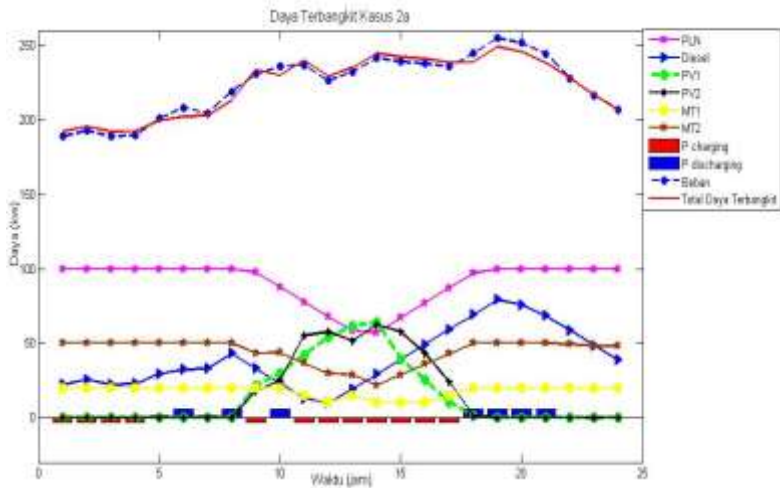
c. Kasus 2c : Harga *charging* dan *discharging* berbeda

Pada kasus ini, digunakan harga *charging* dan *discharging* yang berbeda. Baterai diasumsikan dimiliki oleh pihak ketiga yang ingin menghasilkan lebih banyak keuntungan dari daya *output* baterai. Sehingga pemilik baterai tersebut harus membeli daya saat *charging* dan dibayar saat *discharging*. Harga *charging* baterai ditetapkan sama dengan harga listrik PLN sedangkan harga *discharging* ditetapkan dua kali lebih tinggi.

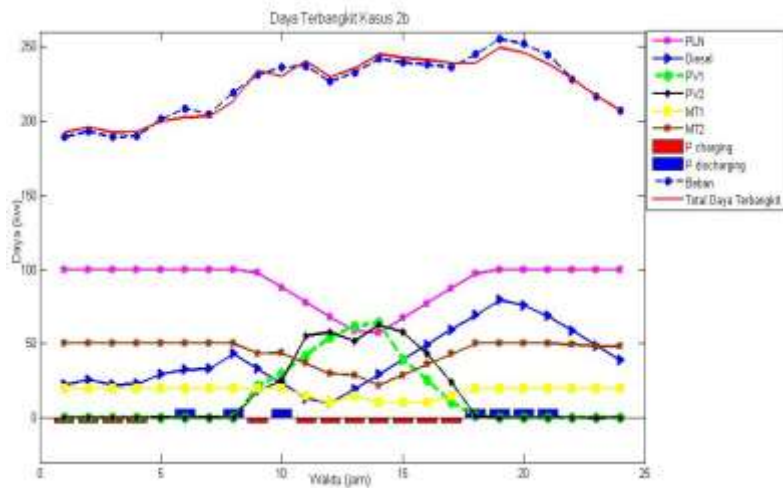
Untuk skenario ini, parameter analisis yang digunakan meliputi daya terbangkit dari masing-masing generator, *SOC* dan daya keluaran baterai, daya saluran, serta biaya pembangkitan. Berikut adalah analisis dari masing-masing parameter.

#### **4.2.2.1 Daya terbangkit**

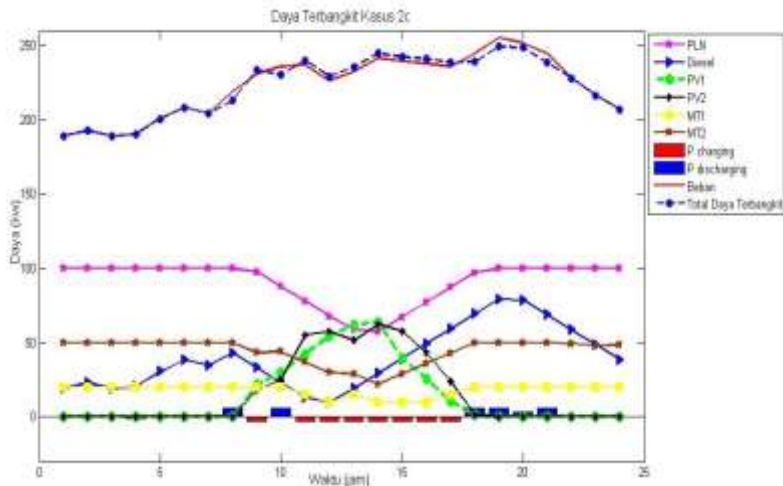
Daya terbangkit dari tiap pembangkit untuk masing-masing kasus dapat dilihat pada **Gambar 4.7 – 4.9**



**Gambar 4.7** Daya terbangkit pada kasus 2a



**Gambar 4.8** Daya terbangkit pada kasus 2b



**Gambar 4.9** Daya terbangkit pada kasus 2c

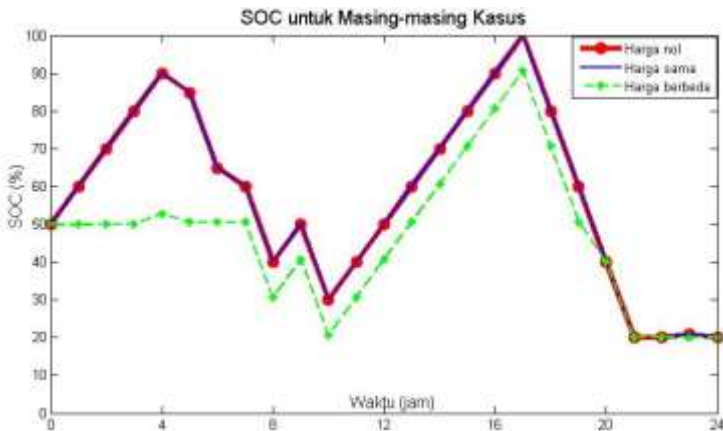
Dari hasil simulasi, total daya terbangkit untuk masing-masing kasus bernilai sama yaitu 5360.717 kw. Daya tersebut telah memenuhi permintaan beban pada tiap periode dengan total beban yaitu 5360.717 kw. Selain itu, daya keluaran tiap generator tidak melanggar batasan kapasitas maksimum dan minimum pembangkitan. Perubahan daya tiap periode untuk masing-masing generator juga tidak melanggar batasan *ramp rate*. Secara lengkap, data validasi tersebut dapat dilihat pada Lampiran. Secara umum, daya terbangkit untuk masing-masing generator pada kasus 2a dan 2b bernilai sama sedangkan pada kasus 2c terdapat perbedaan daya terbangkit. Selisih maksimum dari perbedaan tersebut sebesar 3%.

#### 4.2.2.2 SOC dan Daya Keluaran Baterai

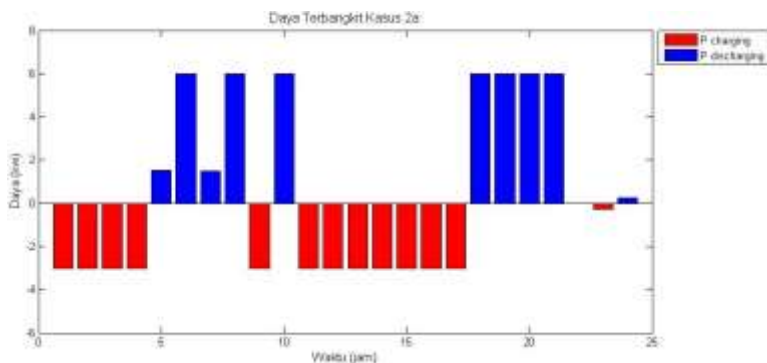
Validasi *SOC* baterai dilakukan dengan membandingkan *SOC* hasil simulasi terhadap batasan *SOC* minimum dan maksimum baterai. Dari hasil simulasi, *SOC* baterai tidak melanggar batasan *SOC* minimum maupun maksimum yang telah ditentukan. Hal ini dibuktikan dengan maksimum *SOC* hasil simulasi bernilai 100% pada kasus 2a dan 2b serta bernilai 90.6% pada kasus 2c. Sedangkan untuk *SOC* minimum, baterai



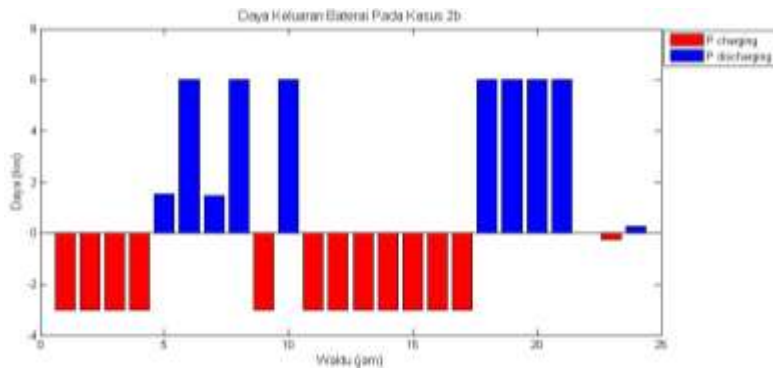
memiliki *SOC* terendah pada 20% untuk ketiga kasus. Grafik perbandingan *SOC* pada ketiga kasus ditampilkan dalam **Gambar 4.10** Validasi daya keluaran baterai dilakukan dengan membandingkan daya *charging* dan *discharging* baterai hasil simulasi dengan daya *charging* dan *discharging* maksimum. Dari hasil simulasi didapatkan daya *charging* dan *discharging* baterai tidak melanggar batasan tersebut pada tiap periode untuk masing-masing kasus. Daya keluaran baterai ditampilkan pada **Gambar 4.11 – 4.13**



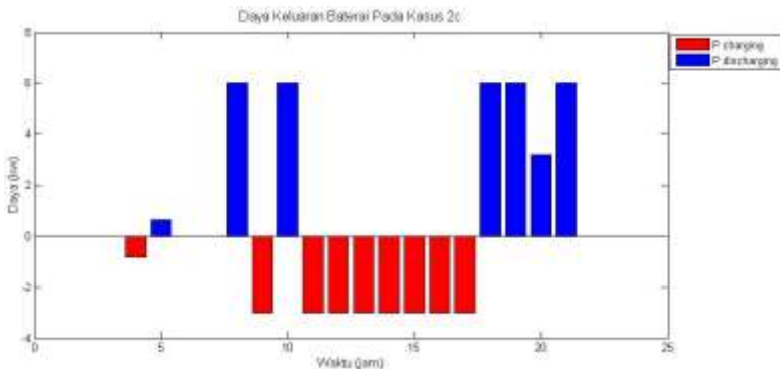
**Gambar 4.10** SOC baterai untuk masing-masing kasus



**Gambar 4.11** Daya keluaran baterai pada kasus 2a



**Gambar 4.12** Daya keluaran baterai pada kasus 2b



**Gambar 4.13** Daya keluaran baterai pada kasus 2c

Dari **Gambar 4.10**, grafik naik menggambarkan baterai mengalami *charging* sedangkan grafik turun menggambarkan baterai mengalami *discharging*. SOC baterai pada kasus 2a dan 2b bernilai sama untuk tiap periode, begitu pula dengan daya keluarannya yang tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Total daya *charging* dan *discharging* baterai pada kasus 2a adalah -36.264 kw dan 45.264 kw sedangkan pada kasus 2b sebesar -36.266 kw dan 45.266 kw. Hal ini dikarenakan tidak ada perbedaan harga *charging* dan *discharging* pada masing-masing kasus tersebut.

Pada jam 1 – 4 dimana kondisi permintaan beban rendah, baterai mengalami *charging* dengan daya maksimum. *SOC* awal baterai yang bernilai 50% naik menjadi 90% di akhir jam 4. Pada jam 5 – 10 permintaan beban naik secara fluktuatif yang mengakibatkan *discharging* terjadi pada pukul 5 – 8. Pada pukul 9, masuknya daya dari PV membuat baterai *charging* sebelum *discharging* kembali pada pukul 10. Kondisi *SOC* pada akhir periode 10 yang hanya 30% serta masuknya daya yang berlimpah karena operasi PV pada siang hari menyebabkan baterai mengalami *charging* kembali dengan daya maksimum hingga batas *SOC* bernilai 100% yang terjadi pada pukul 17. Kemudian pada periode beban puncak yang terjadi pada pukul 18 – 21, daya yang tersimpan pada periode sebelumnya disalurkan hingga *SOC* minimum tercapai pada pukul 21. Pada pukul 22, baterai tidak mengalami *charging* maupun *discharging*. Sedangkan pada pukul 23 – 24, *SOC* baterai mengalami fluktuasi yang tidak signifikan untuk mempertahankan kondisi minimum tersebut. Walaupun permintaan beban menurun pada periode tersebut, baterai tidak mengalami *charging* dan *SOC* dijaga pada kondisi 20%. Pada periode tersebut penggunaan daya PLN dan *microturbine* telah maksimal, sehingga operasi baterai tersebut dilakukan untuk meminimalkan daya keluaran diesel yang harganya mahal. Dari hal tersebut, dapat disimpulkan bahwa baterai mengalami *charging* pada saat periode beban rendah dan saat terdapat kelebihan daya di sistem. Kelebihan daya tersebut terjadi pada siang hari dimana suplai daya oleh PV berlimpah yang memungkinkan baterai untuk *charging* dengan daya maksimum, 3 kw. Daya yang tersimpan dari proses *charging* akan dikeluarkan melalui proses *discharging* pada saat permintaan beban meningkat maupun pada saat periode beban puncak dengan daya *discharging* maksimum 6 kw.

Pada kasus 2c, *SOC* dan daya keluaran baterai berbeda dari kasus 1 dan 2. *SOC* baterai tidak mengalami perubahan dari kondisi awal pada pukul 1 – 3. Pada pukul 4 – 5 baterai mengalami *charging* dan *discharging* dengan daya kecil. Hal ini terjadi karena kenaikan beban yang lebih signifikan. Pada pukul 6 – 7 baterai kembali tidak melakukan *charging* maupun *discharging* karena perubahan beban yang kecil. Pada pukul 8 – 19, baterai mengalami *charging* dan *discharging* dengan pola yang sama seperti pada kedua kasus sebelumnya namun dengan nilai *SOC* yang lebih

rendah. Pada pukul 20 – 24, *SOC* baterai sama seperti pada kasus 2a dan 2b. Karena harga *discharging* yang lebih mahal, proses *discharging* baterai cenderung diminimalisir pada kasus ini. Hal ini terbukti dengan total daya *discharging* yang lebih sedikit dibandingkan dengan kedua kasus sebelumnya, yaitu 33.818 kw. Fenomena ini menyebabkan proses *charging* juga ikut terminimalisir untuk mencegah terjadinya *discharging* dengan daya yang besar. Total daya *charging* pada kasus ini hanya sebesar -24.818 kw. Secara keseluruhan, penggunaan maksimal baterai pada kasus ini terbatas pada jam 8-21. Dari ketiga hasil simulasi tersebut, dapat disimpulkan bahwa harga *charging* dan *discharging* yang berbeda berpengaruh terhadap *SOC* dan daya keluaran baterai.

#### 4.2.2.3 Daya Saluran

Untuk skenario 2, daya yang mengalir pada tiap saluran tidak melebihi batasan kapasitas saluran. Kapasitas saluran juga berpengaruh terhadap daya terbangkit pada simulasi ini. Dari hasil simulasi, daya keluaran maksimum dari PV1 pada periode tertentu melebihi kapasitas saluran. Hal ini menyebabkan daya keluaran dari PV1 tidak digunakan secara maksimal pada periode tersebut.

#### 4.2.2.4 Biaya Pembangkitan

Dari hasil simulasi, biaya pembangkitan untuk masing-masing kasus dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 4.5** Biaya pembangkitan tiap kasus pada skenario 2

Kasus 2a	Kasus 2b	Kasus 2c
\$600.397	\$601.387	\$605.143

Dari **Tabel 4.5**, kasus 2a memiliki biaya pembangkitan termurah sedangkan kasus 2c memiliki biaya pembangkitan termahal. Keuntungan dari operasi baterai pada kasus 2c sebanding dengan selisih daya *charging* dan *discharging*. Dari hasil tersebut, pemilik baterai dapat menghasilkan keuntungan sebesar \$4.71 (Rp 62,798.43) per hari atau setara dengan \$1719.15 (Rp 22,921,426.95) per tahun.

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil simulasi, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. *Mixed-Integer Quadratic Programming* dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah *Dynamic OPF* dengan *energy storage* mempertimbangkan harga *charging* dan *discharging energy storage* yang berbeda.
2. Hasil simulasi dari kedua skenario telah memenuhi permintaan beban serta tidak melanggar batasan kapasitas generator, *ramp rate* dan kapasitas saluran, *SOC* minimum dan maksimum.
3. Dengan adanya integrasi baterai pada sistem, daya keluaran PV lebih dimaksimalkan dan biaya pembangkitan menurun sebesar 2.77%
4. Perubahan *SOC energy storage* dipengaruhi oleh perubahan beban, ketersediaan daya di sistem serta *SOC* pada periode sebelumnya.
5. Tidak ada perbedaan yang signifikan untuk daya terbangkit dan *SOC energy storage* pada kasus harga *charging & discharging* nol dan harga *charging & discharging* sama.
6. Dengan adanya perbedaan harga *charging* dan *discharging energy storage*, penggunaan *energy storage* lebih diminimalisir.
7. Dengan adanya perbedaan harga *charging* dan *discharging energy storage*, total daya *charging* menurun sebesar 25.29% sedangkan daya *discharging* menurun sebesar 31.56%.
8. Dengan adanya perbedaan harga *charging* dan *discharging*, biaya pembangkitan sistem menjadi lebih tinggi 0.79% namun pemilik *energy storage* dapat menghasilkan keuntungan sebesar \$ 4.79 per hari atau \$1719,15 per tahun dari hal tersebut.

#### **5.2 Saran**

Untuk pengembangan penelitian, berikut adalah saran dari penulis terkait penelitian ini:

1. Penelitian dapat dikembangkan dengan menggunakan *OPF AC* yang mempertimbangkan rugi-rugi serta aliran daya reaktif

sehingga didapatkan pendekatan yang menyerupai keadaan di lapangan.

2. Penelitian dapat dikembangkan dengan menggunakan metode yang berbeda seperti *Artificial Intelligent* untuk mendapatkan metode yang paling sesuai.
3. Penelitian dapat dikembangkan dengan mempertimbangkan penempatan dan *sizing energy storage* yang optimal untuk mendapatkan hasil yang dapat diimplementasikan.

## LAMPIRAN

**Tabel 1. Daya Terbangkit Kasus 1a**

Daya Terbangkit	Jam					
	1	2	3	4	5	6
PLN (kw)	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Diesel (kw)	19.200	22.795	19.200	21.176	31.176	38.366
PV 1 (kw)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
PV 2 (kw)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Micro Turbine 1 (kw)	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
Micro Turbine 2 (kw)	50.000	50.000	50.000	48.553	50.000	50.000
Total Daya / Jam (kw)	189.200	192.795	189.200	189.730	201.176	208.366
Beban / Jam (kw)	189.200	192.795	189.200	189.730	201.176	208.366
Daya Terbangkit	Jam					
	7	8	9	10	11	12
PLN (kw)	100.000	100.000	90.071	84.525	74.525	64.525
Diesel (kw)	39.094	49.094	39.094	29.094	19.094	10.482
PV 1 (kw)	0.000	0.000	21.600	30.240	45.817	56.587
PV 2 (kw)	0.000	0.000	18.000	25.200	42.569	51.815
Micro Turbine 1 (kw)	20.000	20.000	19.059	20.000	15.000	10.000
Micro Turbine 2 (kw)	45.469	50.000	43.000	47.063	40.063	33.063
Total Daya / Jam (kw)	204.563	219.094	230.824	236.122	237.068	226.472
Beban / Jam (kw)	204.563	219.094	230.824	236.122	237.068	226.472

Daya Terbangkit	Jam					
	13	14	15	16	17	18
PLN (kw)	54.525	60.000	70.000	80.000	90.000	100.000
Diesel (kw)	20.482	30.482	40.482	50.482	60.482	70.482
PV 1 (kw)	61.920	58.427	45.221	32.095	14.616	1.440
PV 2 (kw)	51.600	57.104	44.635	29.436	12.834	1.200
Micro Turbine 1 (kw)	15.000	10.000	10.000	10.000	15.000	20.000
Micro Turbine 2 (kw)	29.000	22.000	29.000	36.000	43.000	50.000
Total Daya / Jam (kw)	232.527	238.014	239.338	238.014	235.932	243.122
Beban / Jam (kw)	232.527	238.014	239.338	238.014	235.932	243.122
Daya Terbangkit	Jam					
	19	20	21	22	23	24
PLN (kw)	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Diesel (kw)	79.934	75.392	74.636	64.636	54.636	44.636
PV 1 (kw)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
PV 2 (kw)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Micro Turbine 1 (kw)	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
Micro Turbine 2 (kw)	50.000	50.000	50.000	43.350	41.999	42.539
Total Daya / Jam (kw)	249.933	245.392	244.636	227.986	216.634	207.174
Beban / Jam (kw)	249.933	245.392	244.636	227.986	216.634	207.174



**Tabel 2. Daya Terbangkit Kasus 1b**

Daya Terbangkit	Jam					
	1	2	3	4	5	6
PLN (kw)	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Diesel (kw)	22.200	25.795	22.200	22.730	29.646	32.366
PV 1 (kw)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
PV 2 (kw)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Micro Turbine 1 (kw)	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
Micro Turbine 2 (kw)	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000
Charging Baterai (kw)	0.000	0.000	0.000	0.000	1.531	6.000
Discharging Baterai (kw)	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	0.000	0.000
Total Daya / Jam (kw)	189.200	192.795	189.200	189.730	201.176	208.366
Beban / Jam (kw)	189.200	192.795	189.200	189.730	201.176	208.366
Daya Terbangkit	Jam					
	7	8	9	10	11	12
PLN (kw)	100.000	100.000	97.798	87.798	77.798	67.798
Diesel (kw)	33.094	43.094	33.094	23.094	13.094	10.000
PV 1 (kw)	0.000	0.000	21.600	30.240	42.186	54.284
PV 2 (kw)	0.000	0.000	18.000	25.200	55.200	57.600
Micro Turbine 1 (kw)	20.000	20.000	20.000	20.000	15.000	10.000
Micro Turbine 2 (kw)	50.000	50.000	43.333	43.790	36.790	29.790
Charging Baterai (kw)	1.469	6.000	0.000	6.000	0.000	0.000
Discharging Baterai (kw)	0.000	0.000	-3.000	0.000	-3.000	-3.000
Total Daya / Jam (kw)	204.563	219.094	230.824	236.122	237.068	226.472
Beban / Jam (kw)	204.563	219.094	230.824	236.122	237.068	226.472

Daya Terbangkit	Jam					
	13	14	15	16	17	18
PLN (kw)	63.525	60.000	70.000	80.000	90.000	100.000
Diesel (kw)	14.482	24.482	34.482	44.482	54.482	64.482
PV 1 (kw)	61.920	62.132	41.256	27.332	12.450	1.440
PV 2 (kw)	51.600	62.400	57.600	43.200	24.000	1.200
Micro Turbine 1 (kw)	15.000	10.000	10.000	10.000	15.000	20.000
Micro Turbine 2 (kw)	29.000	22.000	29.000	36.000	43.000	50.000
Charging Baterai (kw)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.000
Discharging Baterai (kw)	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	0.000
Total Daya / Jam (kw)	232.527	238.014	239.338	238.014	235.932	243.122
Beban / Jam (kw)	232.527	238.014	239.338	238.014	235.932	243.122
Daya Terbangkit	Jam					
	19	20	21	22	23	24
PLN (kw)	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Diesel (kw)	73.933	69.392	68.636	58.636	48.636	38.636
PV 1 (kw)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
PV 2 (kw)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Micro Turbine 1 (kw)	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
Micro Turbine 2 (kw)	50.000	50.000	50.000	49.350	48.266	48.271
Charging Baterai (kw)	6.000	6.000	6.000	0.000	0.000	0.268
Discharging Baterai (kw)	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.268	0.000
Total Daya / Jam (kw)	249.933	245.392	244.636	227.986	216.634	207.174
Beban / Jam (kw)	249.933	245.392	244.636	227.986	216.634	207.174

**Tabel 3. Daya Terbangkit Kasus 2a**

Daya Terbangkit	Jam					
	1	2	3	4	5	6
PLN (kw)	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Diesel (kw)	22.200	25.795	22.200	22.730	29.646	32.366
PV 1 (kw)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
PV 2 (kw)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Micro Turbine 1 (kw)	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
Micro Turbine 2 (kw)	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000
Charging Baterai (kw)	0.000	0.000	0.000	0.000	1.531	6.000
Discharging Baterai (kw)	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	0.000	0.000
Total Daya / Jam (kw)	189.200	192.795	189.200	189.730	201.176	208.366
Beban / Jam (kw)	189.200	192.795	189.200	189.730	201.176	208.366
Daya Terbangkit	Jam					
	7	8	9	10	11	12
PLN (kw)	100.000	100.000	97.800	87.800	77.800	67.800
Diesel (kw)	33.094	43.094	33.094	23.094	13.094	10.000
PV 1 (kw)	0.000	0.000	21.600	30.240	42.186	54.284
PV 2 (kw)	0.000	0.000	18.000	25.200	55.200	57.600
Micro Turbine 1 (kw)	20.000	20.000	20.000	20.000	15.000	10.000
Micro Turbine 2 (kw)	50.000	50.000	43.330	43.788	36.788	29.788
Charging Baterai (kw)	1.469	6.000	0.000	6.000	0.000	0.000
Discharging Baterai (kw)	0.000	0.000	-3.000	0.000	-3.000	-3.000
Total Daya / Jam (kw)	204.563	219.094	230.824	236.122	237.068	226.472
Beban / Jam (kw)	204.563	219.094	230.824	236.122	237.068	226.472

Daya Terbangkit	Jam					
	13	14	15	16	17	18
PLN (kw)	58.776	57.143	67.143	77.143	87.143	97.143
Diesel (kw)	19.231	29.231	39.231	49.231	59.231	69.231
PV 1 (kw)	61.920	64.024	39.364	25.440	10.558	1.440
PV 2 (kw)	51.600	62.400	57.600	43.200	24.000	1.200
Micro Turbine 1 (kw)	15.000	10.000	10.000	10.000	15.000	20.000
Micro Turbine 2 (kw)	29.000	22.000	29.000	36.000	43.000	50.000
Charging Baterai (kw)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.000
Discharging Baterai (kw)	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	0.000
Total Daya / Jam (kw)	232.527	241.798	239.338	238.014	235.932	245.014
Beban / Jam (kw)	232.527	241.798	239.338	238.014	235.932	245.014
Daya Terbangkit	Jam					
	19	20	21	22	23	24
PLN (kw)	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Diesel (kw)	79.231	75.825	68.636	58.636	48.636	38.636
PV 1 (kw)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
PV 2 (kw)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Micro Turbine 1 (kw)	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
Micro Turbine 2 (kw)	50.000	50.000	50.000	49.350	48.262	48.274
Charging Baterai (kw)	6.000	6.000	6.000	0.000	0.000	0.264
Discharging Baterai (kw)	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.264	0.000
Total Daya / Jam (kw)	255.231	251.825	244.636	227.986	216.634	207.174
Beban / Jam (kw)	255.231	251.825	244.636	227.986	216.634	207.174

**Tabel 4. Daya Terbangkit Kasus 2b**

Daya Terbangkit	Jam					
	1	2	3	4	5	6
PLN (kw)	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Diesel (kw)	22.200	25.795	22.200	22.730	29.646	32.366
PV 1 (kw)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
PV 2 (kw)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Micro Turbine 1 (kw)	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
Micro Turbine 2 (kw)	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000
Charging Baterai (kw)	0.000	0.000	0.000	0.000	1.531	6.000
Discharging Baterai (kw)	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	0.000	0.000
Total Daya / Jam (kw)	189.200	192.795	189.200	189.730	201.176	208.366
Beban / Jam (kw)	189.200	192.795	189.200	189.730	201.176	208.366
Daya Terbangkit	Jam					
	7	8	9	10	11	12
PLN (kw)	100.000	100.000	97.801	87.801	77.801	67.801
Diesel (kw)	33.094	43.094	33.094	23.094	13.094	10.000
PV 1 (kw)	0.000	0.000	21.600	30.240	42.186	54.284
PV 2 (kw)	0.000	0.000	18.000	25.200	55.200	57.600
Micro Turbine 1 (kw)	20.000	20.000	20.000	20.000	15.000	10.000
Micro Turbine 2 (kw)	50.000	50.000	43.330	43.787	36.787	29.787
Charging Baterai (kw)	1.469	6.000	0.000	6.000	0.000	0.000
Discharging Baterai (kw)	0.000	0.000	-3.000	0.000	-3.000	-3.000
Total Daya / Jam (kw)	204.563	219.094	230.824	236.122	237.068	226.472
Beban / Jam (kw)	204.563	219.094	230.824	236.122	237.068	226.472

Daya Terbangkit	Jam					
	13	14	15	16	17	18
PLN (kw)	58.776	57.143	67.143	77.143	87.143	97.143
Diesel (kw)	19.231	29.231	39.231	49.231	59.231	69.231
PV 1 (kw)	61.920	64.024	39.364	25.440	10.558	1.440
PV 2 (kw)	51.600	62.400	57.600	43.200	24.000	1.200
Micro Turbine 1 (kw)	15.000	10.000	10.000	10.000	15.000	20.000
Micro Turbine 2 (kw)	29.000	22.000	29.000	36.000	43.000	50.000
Charging Baterai (kw)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.000
Discharging Baterai (kw)	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	0.000
Total Daya / Jam (kw)	232.527	241.798	239.338	238.014	235.932	245.014
Beban / Jam (kw)	232.527	241.798	239.338	238.014	235.932	245.014
Daya Terbangkit	Jam					
	19	20	21	22	23	24
PLN (kw)	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Diesel (kw)	79.231	75.825	68.636	58.636	48.636	38.636
PV 1 (kw)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
PV 2 (kw)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Micro Turbine 1 (kw)	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
Micro Turbine 2 (kw)	50.000	50.000	50.000	49.350	48.264	48.273
Charging Baterai (kw)	6.000	6.000	6.000	0.000	0.000	0.266
Discharging Baterai (kw)	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.266	0.000
Total Daya / Jam (kw)	255.231	251.825	244.636	227.986	216.634	207.174
Beban / Jam (kw)	255.231	251.825	244.636	227.986	216.634	207.174

**Tabel 5. Daya Terbangkit Kasus 2c**

Daya Terbangkit	Jam					
	1	2	3	4	5	6
PLN (kw)	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Diesel (kw)	19.200	22.795	19.200	20.548	30.548	38.366
PV 1 (kw)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
PV 2 (kw)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Micro Turbine 1 (kw)	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
Micro Turbine 2 (kw)	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000
Charging Baterai (kw)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.628	0.000
Discharging Baterai (kw)	0.000	0.000	0.000	-0.818	0.000	0.000
Total Daya / Jam (kw)	189.200	192.795	189.200	189.730	201.176	208.366
Beban / Jam (kw)	189.200	192.795	189.200	189.730	201.176	208.366
Daya Terbangkit	Jam					
	7	8	9	10	11	12
PLN (kw)	100.000	100.000	97.797	87.797	77.797	67.797
Diesel (kw)	34.563	43.094	33.094	23.094	13.094	10.000
PV 1 (kw)	0.000	0.000	21.600	30.240	42.186	54.284
PV 2 (kw)	0.000	0.000	18.000	25.200	55.200	57.600
Micro Turbine 1 (kw)	20.000	20.000	20.000	20.000	15.000	10.000
Micro Turbine 2 (kw)	50.000	50.000	43.333	43.791	36.791	29.791
Charging Baterai (kw)	0.000	6.000	0.000	6.000	0.000	0.000
Discharging Baterai (kw)	0.000	0.000	-3.000	0.000	-3.000	-3.000
Total Daya / Jam (kw)	204.563	219.094	230.824	236.122	237.068	226.472
Beban / Jam (kw)	204.563	219.094	230.824	236.122	237.068	226.472

Daya Terbangkit	Jam					
	13	14	15	16	17	18
PLN (kw)	58.776	57.143	67.143	77.143	87.143	97.143
Diesel (kw)	19.231	29.231	39.231	49.231	59.231	69.231
PV 1 (kw)	61.920	64.024	39.364	25.440	10.558	1.440
PV 2 (kw)	51.600	62.400	57.600	43.200	24.000	1.200
Micro Turbine 1 (kw)	15.000	10.000	10.000	10.000	15.000	20.000
Micro Turbine 2 (kw)	29.000	22.000	29.000	36.000	43.000	50.000
Charging Baterai (kw)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.000
Discharging Baterai (kw)	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	0.000
Total Daya / Jam (kw)	232.527	241.798	239.338	238.014	235.932	245.014
Beban / Jam (kw)	232.527	241.798	239.338	238.014	235.932	245.014
Daya Terbangkit	Jam					
	19	20	21	22	23	24
PLN (kw)	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Diesel (kw)	79.231	78.636	68.636	58.636	48.636	38.636
PV 1 (kw)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
PV 2 (kw)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Micro Turbine 1 (kw)	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
Micro Turbine 2 (kw)	50.000	50.000	50.000	49.350	47.998	48.538
Charging Baterai (kw)	6.000	3.190	6.000	0.000	0.000	0.000
Discharging Baterai (kw)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total Daya / Jam (kw)	255.231	251.825	244.636	227.986	216.634	207.174
Beban / Jam (kw)	255.231	251.825	244.636	227.986	216.634	207.174



**Tabel 6. Perbandingan Perubahan Daya Terbangkit Terhadap *Ramp Rate* Pada Kasus 1a**

Perubahan Daya	<i>Ramp Rate</i> ( $\pm$ kw)	Interval				
		1 – 2	2 – 3	3 – 4	4 – 5	5 – 6
PLN (kw)	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Diesel (kw)	10.000	3.595	-3.595	1.976	10.000	7.190
PV 1 (kw)	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
PV 2 (kw)	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Micro Turbine 1 (kw)	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Micro Turbine 2 (kw)	7.000	0.000	0.000	-1.447	1.447	0.000
Perubahan Daya	<i>Ramp Rate</i> ( $\pm$ kw)	Interval				
		6 – 7	7 – 8	8 – 9	9 – 10	10 – 11
PLN (kw)	10.000	0.000	0.000	-9.929	-5.546	-10.000
Diesel (kw)	10.000	0.728	10.000	-10.000	-10.000	-10.000
PV 1 (kw)	-	0.000	0.000	21.600	8.640	15.577
PV 2 (kw)	-	0.000	0.000	18.000	7.200	17.369
Micro Turbine 1 (kw)	5.000	0.000	0.000	-0.941	0.941	-5.000
Micro Turbine 2 (kw)	7.000	-4.531	4.531	-7.000	4.062	-7.000
Perubahan Daya	<i>Ramp Rate</i> ( $\pm$ kw)	Interval				
		11 – 12	12 – 13	13 – 14	14 – 15	15 – 16
PLN (kw)	10.000	-10.000	-10.000	5.475	10.000	10.000
Diesel (kw)	10.000	-8.612	10.000	10.000	10.000	10.000
PV 1 (kw)	-	10.770	5.333	-3.493	-13.206	-13.126
PV 2 (kw)	-	9.246	-0.215	5.504	-12.470	-15.198
Micro Turbine 1 (kw)	5.000	-5.000	5.000	-5.000	0.000	0.000
Micro Turbine 2 (kw)	7.000	-7.000	-4.063	-7.000	7.000	7.000

Perubahan Daya	<i>Ranp</i> <i>Rate</i> ( $\pm$ kw)	Interval				
		16 – 17	17 – 18	18 – 19	19 – 20	20 – 21
PLN (kw)	10.000	10.000	10.000	0.000	0.000	0.000
Diesel (kw)	10.000	10.000	10.000	9.452	-4.542	-0.757
PV 1 (kw)	-	-17.479	-13.176	-1.440	0.000	0.000
PV 2 (kw)	-	-16.602	-11.634	-1.200	0.000	0.000
Micro Turbine 1 (kw)	5.000	5.000	5.000	0.000	0.000	0.000
Micro Turbine 2 (kw)	7.000	7.000	7.000	0.000	0.000	0.000
Perubahan Daya	<i>Ranp</i> <i>Rate</i> ( $\pm$ kw)	Interval				
		21 – 12	22 – 23	23 – 24		
PLN (kw)	10.000	0.000	0.000	0.000		
Diesel (kw)	10.000	-10.000	-10.000	-10.000		
PV 1 (kw)	-	0.000	0.000	0.000		
PV 2 (kw)	-	0.000	0.000	0.000		
Micro Turbine 1 (kw)	5.000	0.000	0.000	0.000		
Micro Turbine 2 (kw)	7.000	-6.650	-1.351	0.540		

**Tabel 7. Perbandingan Perubahan Daya Terbangkit Terhadap *Ramp Rate* Pada Kasus 1b**

Perubahan Daya	<i>Ramp Rate</i> ( $\pm$ kw)	Interval				
		1 – 2	2 – 3	3 – 4	4 – 5	5 – 6
PLN (kw)	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Diesel (kw)	10.000	3.595	-3.595	0.530	6.916	2.720
PV 1 (kw)	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
PV 2 (kw)	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Micro Turbine 1 (kw)	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Micro Turbine 2 (kw)	7.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Perubahan Daya	<i>Ramp Rate</i> ( $\pm$ kw)	Interval				
		6 – 7	7 – 8	8 – 9	9 – 10	10 – 11
PLN (kw)	10.000	0.000	0.000	-2.202	- 10.000	- 10.000
Diesel (kw)	10.000	0.728	10.000	- 10.000	- 10.000	- 10.000
PV 1 (kw)	-	0.000	0.000	21.600	8.640	11.946
PV 2 (kw)	-	0.000	0.000	18.000	7.200	30.000
Micro Turbine 1 (kw)	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-5.000
Micro Turbine 2 (kw)	7.000	0.000	0.000	-6.667	0.458	-7.000
Perubahan Daya	<i>Ramp Rate</i> ( $\pm$ kw)	Interval				
		11 – 12	12 – 13	13 – 14	14 – 15	15 – 16
PLN (kw)	10.000	- 10.000	-4.273	-3.525	10.000	10.000
Diesel (kw)	10.000	-3.094	4.482	10.000	10.000	10.000
PV 1 (kw)	-	12.098	7.636	0.212	- 20.876	- 13.924
PV 2 (kw)	-	2.400	-6.000	10.800	-4.800	- 14.400
Micro Turbine 1 (kw)	5.000	-5.000	5.000	-5.000	0.000	0.000
Micro Turbine 2 (kw)	7.000	-7.000	-0.790	-7.000	7.000	7.000

Perubahan Daya	<i>Ranp</i> <i>Rate</i> (± kw)	Interval				
		16 – 17	17 – 18	18 – 19	19 – 20	20 – 21
PLN (kw)	10.000	10.000	10.000	0.000	0.000	0.000
Diesel (kw)	10.000	10.000	10.000	9.451	-4.541	-0.757
PV 1 (kw)	-	-14.881	-11.010	-1.440	0.000	0.000
PV 2 (kw)	-	-19.200	-22.800	-1.200	0.000	0.000
Micro Turbine 1 (kw)	5.000	5.000	5.000	0.000	0.000	0.000
Micro Turbine 2 (kw)	7.000	7.000	7.000	0.000	0.000	0.000
Perubahan Daya	<i>Ranp</i> <i>Rate</i> (± kw)	Interval				
		21 – 12	22 – 23	23 – 24		
PLN (kw)	10.000	0.000	0.000	0.000		
Diesel (kw)	10.000	-10.000	-10.000	-10.000		
PV 1 (kw)	-	0.000	0.000	0.000		
PV 2 (kw)	-	0.000	0.000	0.000		
Micro Turbine 1 (kw)	5.000	0.000	0.000	0.000		
Micro Turbine 2 (kw)	7.000	-0.650	-1.084	0.005		

**Tabel 8. Perbandingan Perubahan Daya Terbangkit Terhadap *Ramp Rate* Pada Kasus 2a**

Perubahan Daya	<i>Ramp Rate</i> ( $\pm$ kw)	Interval				
		1 – 2	2 – 3	3 – 4	4 – 5	5 – 6
PLN (kw)	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Diesel (kw)	10.000	3.595	-3.595	0.530	6.916	2.720
PV 1 (kw)	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
PV 2 (kw)	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Micro Turbine 1 (kw)	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Micro Turbine 2 (kw)	7.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Perubahan Daya	<i>Ramp Rate</i> ( $\pm$ kw)	Interval				
		6 – 7	7 – 8	8 – 9	9 – 10	10 – 11
PLN (kw)	10.000	0.000	0.000	-2.200	-10.000	-10.000
Diesel (kw)	10.000	0.728	10.000	-10.000	-10.000	-10.000
PV 1 (kw)	-	0.000	0.000	21.600	8.640	11.946
PV 2 (kw)	-	0.000	0.000	18.000	7.200	30.000
Micro Turbine 1 (kw)	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-5.000
Micro Turbine 2 (kw)	7.000	0.000	0.000	-6.670	0.458	-7.000
Perubahan Daya	<i>Ramp Rate</i> ( $\pm$ kw)	Interval				
		11 – 12	12 – 13	13 – 14	14 – 15	15 – 16
PLN (kw)	10.000	-10.000	-9.024	-1.633	10.000	10.000
Diesel (kw)	10.000	-3.094	9.231	10.000	10.000	10.000
PV 1 (kw)	-	12.098	7.636	2.104	-24.660	-13.924
PV 2 (kw)	-	2.400	-6.000	10.800	-4.800	-14.400
Micro Turbine 1 (kw)	5.000	-5.000	5.000	-5.000	0.000	0.000
Micro Turbine 2 (kw)	7.000	-7.000	-0.788	-7.000	7.000	7.000

Perubahan Daya	<i>Ranp</i> <i>Rate</i> (± kw)	Interval				
		16 – 17	17 – 18	18 – 19	19 – 20	20 – 21
PLN (kw)	10.000	10.000	10.000	2.857	0.000	0.000
Diesel (kw)	10.000	10.000	10.000	10.000	-3.406	-7.190
PV 1 (kw)	-	-14.881	-9.118	-1.440	0.000	0.000
PV 2 (kw)	-	-19.200	-22.800	-1.200	0.000	0.000
Micro Turbine 1 (kw)	5.000	5.000	5.000	0.000	0.000	0.000
Micro Turbine 2 (kw)	7.000	7.000	7.000	0.000	0.000	0.000
Perubahan Daya	<i>Ranp</i> <i>Rate</i> (± kw)	Interval				
		21 – 12	22 – 23	23 – 24		
PLN (kw)	10.000	0.000	0.000	0.000		
Diesel (kw)	10.000	-10.000	-10.000	-10.000		
PV 1 (kw)	-	0.000	0.000	0.000		
PV 2 (kw)	-	0.000	0.000	0.000		
Micro Turbine 1 (kw)	5.000	0.000	0.000	0.000		
Micro Turbine 2 (kw)	7.000	-0.650	-1.088	0.012		

**Tabel 9. Perbandingan Perubahan Daya Terbangkit Terhadap *Ramp Rate* Pada Kasus 2b**

Tipe Pembangkit	<i>Ramp Rate</i> ( $\pm$ kw)	Interval				
		1 – 2	2 – 3	3 – 4	4 – 5	5 – 6
PLN (kw)	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Diesel (kw)	10.000	3.595	-3.595	0.530	6.916	2.720
PV 1 (kw)	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
PV 2 (kw)	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Micro Turbine 1 (kw)	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Micro Turbine 2 (kw)	7.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Tipe Pembangkit	<i>Ramp Rate</i> ( $\pm$ kw)	Interval				
		6 – 7	7 – 8	8 – 9	9 – 10	10 – 11
PLN (kw)	10.000	0.000	0.000	-2.199	-10.000	-10.000
Diesel (kw)	10.000	0.728	10.000	-10.000	-10.000	-10.000
PV 1 (kw)	-	0.000	0.000	21.600	8.640	11.946
PV 2 (kw)	-	0.000	0.000	18.000	7.200	30.000
Micro Turbine 1 (kw)	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-5.000
Micro Turbine 2 (kw)	7.000	0.000	0.000	-6.670	0.458	-7.000
Tipe Pembangkit	<i>Ramp Rate</i> ( $\pm$ kw)	Interval				
		11 – 12	12 – 13	13 – 14	14 – 15	15 – 16
PLN (kw)	10.000	-10.000	-9.025	-1.633	10.000	10.000
Diesel (kw)	10.000	-3.094	9.231	10.000	10.000	10.000
PV 1 (kw)	-	12.098	7.636	2.104	-24.660	-13.924
PV 2 (kw)	-	2.400	-6.000	10.800	-4.800	-14.400
Micro Turbine 1 (kw)	5.000	-5.000	5.000	-5.000	0.000	0.000
Micro Turbine 2 (kw)	7.000	-7.000	-0.787	-7.000	7.000	7.000

Tipe Pembangkit	<i>Ranp Rate (± kw)</i>	Interval				
		16 – 17	17 – 18	18 – 19	19 – 20	20 – 21
PLN (kw)	10.000	10.000	10.000	2.857	0.000	0.000
Diesel (kw)	10.000	10.000	10.000	10.000	-3.406	-7.190
PV 1 (kw)	-	-14.881	-9.118	-1.440	0.000	0.000
PV 2 (kw)	-	-19.200	-22.800	-1.200	0.000	0.000
Micro Turbine 1 (kw)	5.000	5.000	5.000	0.000	0.000	0.000
Micro Turbine 2 (kw)	7.000	7.000	7.000	0.000	0.000	0.000
Tipe Pembangkit	<i>Ranp Rate (± kw)</i>	Interval				
		21 – 12	22 – 23	23 – 24		
PLN (kw)	10.000	0.000	0.000	0.000		
Diesel (kw)	10.000	-10.000	-10.000	-10.000		
PV 1 (kw)	-	0.000	0.000	0.000		
PV 2 (kw)	-	0.000	0.000	0.000		
Micro Turbine 1 (kw)	5.000	0.000	0.000	0.000		
Micro Turbine 2 (kw)	7.000	-0.650	-1.086	0.008		



**Tabel 10. Perbandingan Perubahan Daya Terbangkit Terhadap Ramp Rate Pada Kasus 2c**

Tipe Pembangkit	Ramp Rate ( $\pm$ kw)	Interval				
		1 – 2	2 – 3	3 – 4	4 – 5	5 – 6
PLN (kw)	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Diesel (kw)	10.000	3.595	-3.595	1.348	10.000	7.818
PV 1 (kw)	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
PV 2 (kw)	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Micro Turbine 1 (kw)	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Micro Turbine 2 (kw)	7.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Tipe Pembangkit	Ramp Rate ( $\pm$ kw)	Interval				
		6 – 7	7 – 8	8 – 9	9 – 10	10 – 11
PLN (kw)	10.000	0.000	0.000	-2.203	-10.000	-10.000
Diesel (kw)	10.000	-3.803	8.531	-10.000	-10.000	-10.000
PV 1 (kw)	-	0.000	0.000	21.600	8.640	11.946
PV 2 (kw)	-	0.000	0.000	18.000	7.200	30.000
Micro Turbine 1 (kw)	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-5.000
Micro Turbine 2 (kw)	7.000	0.000	0.000	-6.667	0.458	-7.000
Tipe Pembangkit	Ramp Rate ( $\pm$ kw)	Interval				
		11 – 12	12 – 13	13 – 14	14 – 15	15 – 16
PLN (kw)	10.000	-10.000	-9.021	-1.633	10.000	10.000
Diesel (kw)	10.000	-3.094	9.231	10.000	10.000	10.000
PV 1 (kw)	-	12.098	7.636	2.104	-24.660	-13.924
PV 2 (kw)	-	2.400	-6.000	10.800	-4.800	-14.400
Micro Turbine 1 (kw)	5.000	-5.000	5.000	-5.000	0.000	0.000
Micro Turbine 2 (kw)	7.000	-7.000	-0.791	-7.000	7.000	7.000

Tipe Pembangkit	Ranp Rate ( $\pm$ kw)	Interval				
		16 – 17	17 – 18	18 – 19	19 – 20	20 – 21
PLN (kw)	10.000	10.000	10.000	2.857	0.000	0.000
Diesel (kw)	10.000	10.000	10.000	10.000	-0.595	-10.000
PV 1 (kw)	-	-14.881	-9.118	-1.440	0.000	0.000
PV 2 (kw)	-	-19.200	-22.800	-1.200	0.000	0.000
Micro Turbine 1 (kw)	5.000	5.000	5.000	0.000	0.000	0.000
Micro Turbine 2 (kw)	7.000	7.000	7.000	0.000	0.000	0.000
Tipe Pembangkit	Ranp Rate ( $\pm$ kw)	Interval				
		21 – 12	22 – 23	23 – 24		
PLN (kw)	10.000	0.000	0.000	0.000		
Diesel (kw)	10.000	-10.000	-10.000	-10.000		
PV 1 (kw)	-	0.000	0.000	0.000		
PV 2 (kw)	-	0.000	0.000	0.000		
Micro Turbine 1 (kw)	5.000	0.000	0.000	0.000		
Micro Turbine 2 (kw)	7.000	-0.650	-1.352	0.540		

**Tabel 11. Daya Saluran Kasus 1a**

Dari Bus	Ke Bus	Kapasitas Saluran (kw)	Jam					
			1	2	3	4	5	6
1	2	130.000	66.160	65.581	66.160	65.818	64.231	63.073
1	3	130.000	33.840	34.419	33.840	34.182	35.769	36.927
2	4	65.000	21.869	22.846	21.869	22.451	25.123	27.077
3	4	130.000	31.440	31.974	31.440	31.776	33.217	34.284
2	5	130.000	16.114	16.679	16.114	16.431	17.995	19.125
2	6	65.000	25.676	26.739	25.676	26.351	29.215	31.340
4	6	90.000	22.600	23.229	22.600	23.165	24.695	25.953
5	7	70.000	16.114	16.679	16.114	16.431	17.995	19.125
6	7	130.000	6.686	6.554	6.686	6.433	6.248	5.985
6	8	65.000	22.855	23.423	22.855	23.125	24.749	25.887
6	9	65.000	17.384	17.943	17.384	17.652	19.248	20.367
6	10	32.000	9.933	10.253	9.933	10.087	10.999	11.638
9	11	65.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	10	65.000	17.384	17.943	17.384	17.652	19.248	20.367
4	12	65.000	23.109	23.846	23.109	23.440	25.564	27.037
12	13	65.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	14	32.000	3.730	3.865	3.730	3.790	4.179	4.448
12	15	32.000	3.661	3.956	3.661	3.844	4.644	5.234
12	16	32.000	4.518	4.612	4.518	4.575	4.832	5.020
14	15	16.000	-2.470	-2.453	-2.470	-2.428	-2.414	-2.380
16	17	16.000	1.018	1.046	1.018	1.065	1.110	1.166
15	18	16.000	7.010	7.103	7.010	7.028	7.320	7.506
18	19	16.000	3.810	3.842	3.810	3.819	3.917	3.982
19	20	32.000	-5.690	-5.838	-5.690	-5.708	-6.184	-6.481
10	20	32.000	7.890	8.080	7.890	7.914	8.523	8.904
10	17	32.000	7.982	8.125	7.982	7.960	8.459	8.746
10	21	32.000	4.986	5.286	4.986	5.243	5.986	6.586
10	22	32.000	0.658	0.794	0.658	0.806	1.111	1.382
21	22	65.000	-12.514	-12.546	-12.514	-12.306	-12.622	-12.687
15	23	16.000	-14.019	-13.956	-14.019	-13.834	-13.808	-13.682
22	24	16.000	-11.855	-11.752	-11.855	-11.501	-11.511	-11.305
23	24	16.000	2.781	2.784	2.781	2.957	2.789	2.794
24	25	32.000	-17.774	-17.834	-17.774	-17.268	-17.973	-18.092
25	26	16.000	3.500	3.566	3.500	3.510	3.722	3.855
25	27	32.000	-21.274	-21.400	-21.274	-20.778	-21.694	-21.947
28	27	65.000	-15.726	-15.353	-15.726	-14.739	-14.483	-13.736
27	29	16.000	6.041	6.156	6.041	6.058	6.423	6.653
27	30	16.000	6.959	7.091	6.959	6.979	7.400	7.664
29	30	16.000	3.641	3.710	3.641	3.651	3.871	4.010
8	28	32.000	-7.145	-7.147	-7.145	-6.959	-7.150	-7.152
6	28	32.000	-8.581	-8.206	-8.581	-7.780	-7.333	-6.584

Dari Bus	Ke Bus	Kapasitas Saluran (kw)	Jam					
			7	8	9	10	11	12
1	2	130.000	62.882	61.346	57.369	55.830	51.421	46.406
1	3	130.000	37.118	38.654	32.703	28.695	23.104	18.120
2	4	65.000	27.415	29.991	23.308	18.414	12.403	7.461
3	4	130.000	34.524	35.875	29.775	25.700	20.097	15.247
2	5	130.000	19.258	20.810	18.324	16.161	13.537	11.043
2	6	65.000	31.840	34.510	28.356	23.267	17.385	12.409
4	6	90.000	26.766	27.830	28.543	26.445	25.522	24.135
5	7	70.000	19.258	20.810	18.324	16.161	13.537	11.043
6	7	130.000	5.393	5.593	9.492	12.293	15.031	16.249
6	8	65.000	25.869	27.584	29.580	29.550	30.075	29.054
6	9	65.000	20.357	22.037	13.687	9.208	1.784	-3.356
6	10	32.000	11.633	12.592	7.821	5.262	1.019	-1.918
9	11	65.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	10	65.000	20.357	22.037	13.687	9.208	1.784	-3.356
4	12	65.000	26.955	29.236	15.268	8.184	-2.545	-10.524
12	13	65.000	0.000	0.000	-21.600	-30.240	-45.817	-56.587
12	14	32.000	4.429	4.850	5.997	6.155	7.041	7.545
12	15	32.000	5.359	6.115	9.583	9.877	12.964	15.280
12	16	32.000	5.057	5.302	7.624	8.414	9.233	9.831
14	15	16.000	-2.274	-2.330	-1.567	-1.582	-0.727	0.124
16	17	16.000	1.273	1.249	3.354	4.046	4.848	5.642
15	18	16.000	7.419	7.783	9.073	9.724	9.720	9.443
18	19	16.000	3.959	4.077	5.169	5.731	5.711	5.612
19	20	32.000	-6.312	-6.924	-6.421	-6.125	-6.193	-5.759
10	20	32.000	8.691	9.471	9.105	8.871	8.949	8.393
10	17	32.000	8.458	9.173	7.626	7.186	6.429	5.131
10	21	32.000	6.933	7.481	0.342	-3.695	-10.575	-14.342
10	22	32.000	1.637	1.787	-2.641	-5.129	-9.269	-11.398
21	22	65.000	-11.988	-12.784	-21.008	-25.535	-32.502	-35.290
15	23	16.000	-13.200	-13.494	-11.061	-11.664	-7.758	-3.854
22	24	16.000	-10.352	-10.997	-5.649	-5.465	0.798	5.127
23	24	16.000	3.341	2.801	4.094	4.343	3.233	2.316
24	25	32.000	-16.417	-18.271	-12.169	-11.979	-6.871	-2.972
25	26	16.000	3.784	4.053	4.270	4.368	4.385	4.189
25	27	32.000	-20.202	-22.324	-16.439	-16.347	-11.256	-7.161
28	27	65.000	-11.212	-12.622	-10.701	-14.491	-12.517	-10.341
27	29	16.000	6.531	6.995	7.370	7.539	7.569	7.231
27	30	16.000	7.524	8.059	8.490	8.685	8.720	8.330
29	30	16.000	3.936	4.216	4.442	4.544	4.562	4.358
8	28	32.000	-6.567	-7.156	-7.020	-7.890	-7.515	-6.856
6	28	32.000	-4.645	-5.466	-3.681	-6.601	-5.002	-3.485

Dari Bus	Ke Bus	Kapasitas Saluran (kw)	Jam					
			13	14	15	16	17	18
1	2	130.000	38.313	40.132	44.595	48.998	53.348	57.988
1	3	130.000	16.213	19.868	25.405	31.002	36.652	42.012
2	4	65.000	7.718	12.006	17.917	23.940	30.055	35.648
3	4	130.000	13.263	16.849	22.369	27.983	33.659	38.928
2	5	130.000	11.440	13.673	16.302	18.928	21.523	24.194
2	6	65.000	12.968	17.637	23.407	29.314	35.193	40.743
4	6	90.000	25.551	28.341	29.184	30.165	30.634	31.837
5	7	70.000	11.440	13.673	16.302	18.928	21.523	24.194
6	7	130.000	16.582	15.009	12.540	9.755	6.909	5.104
6	8	65.000	30.306	32.143	31.970	31.446	30.752	31.332
6	9	65.000	-4.259	-2.513	4.264	11.641	19.001	25.020
6	10	32.000	-2.434	-1.436	2.436	6.652	10.858	14.297
9	11	65.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	10	65.000	-4.259	-2.513	4.264	11.641	19.001	25.020
4	12	65.000	-13.910	-9.047	1.488	12.198	23.602	32.974
12	13	65.000	-61.920	-58.427	-45.221	-32.095	-14.616	-1.440
12	14	32.000	7.634	8.181	7.836	7.492	6.443	5.778
12	15	32.000	15.288	16.948	15.661	14.510	10.904	8.188
12	16	32.000	11.323	10.162	9.045	8.202	6.905	6.056
14	15	16.000	0.014	0.381	-0.007	-0.308	-1.288	-2.189
16	17	16.000	7.022	5.759	4.617	3.799	2.541	1.559
15	18	16.000	10.695	9.613	9.076	8.654	8.382	8.476
18	19	16.000	6.762	5.588	5.028	4.629	4.392	4.364
19	20	32.000	-4.914	-6.363	-6.990	-7.322	-7.454	-7.843
10	20	32.000	7.617	9.131	9.773	10.090	10.198	10.670
10	17	32.000	4.039	5.563	6.768	7.523	8.682	10.006
10	21	32.000	-14.131	-14.377	-8.891	-2.300	4.160	8.866
10	22	32.000	-11.346	-11.562	-8.286	-4.315	-0.414	2.322
21	22	65.000	-35.639	-36.392	-31.029	-24.315	-17.663	-13.621
15	23	16.000	-5.470	-2.600	-3.795	-4.768	-8.993	-13.015
22	24	16.000	4.615	9.150	5.320	0.806	-5.242	-10.100
23	24	16.000	5.597	3.375	2.157	1.206	2.017	2.873
24	25	32.000	-0.481	1.580	-3.529	-8.933	-14.074	-18.406
25	26	16.000	4.301	4.403	4.427	4.403	4.364	4.497
25	27	32.000	-4.782	-2.823	-7.956	-13.336	-18.438	-22.904
28	27	65.000	-8.241	-2.823	-4.598	-6.310	-8.350	-10.391
27	29	16.000	7.424	7.599	7.642	7.599	7.533	7.762
27	30	16.000	8.553	8.755	8.803	8.755	8.678	8.943
29	30	16.000	4.475	4.580	4.606	4.580	4.540	4.678
8	28	32.000	-6.564	-5.597	-5.980	-6.294	-6.658	-7.218
6	28	32.000	-1.677	2.774	1.381	-0.016	-1.692	-3.173

Dari Bus	Ke Bus	Kapasitas Saluran (kw)	Jam					
			19	20	21	22	23	24
1	2	130.000	56.379	57.111	57.233	58.734	60.322	61.941
1	3	130.000	43.620	42.889	42.767	41.266	39.678	38.059
2	4	65.000	38.371	37.137	36.931	34.421	31.746	29.012
3	4	130.000	40.450	39.776	39.664	38.374	36.930	35.431
2	5	130.000	25.654	24.941	24.822	23.279	21.714	20.141
2	6	65.000	43.623	42.281	42.057	39.521	36.651	33.662
4	6	90.000	33.225	32.431	32.298	31.556	30.011	28.179
5	7	70.000	25.654	24.941	24.822	23.279	21.714	20.141
6	7	130.000	4.465	4.631	4.659	4.195	4.392	4.825
6	8	65.000	32.462	31.744	31.624	29.847	28.225	26.659
6	9	65.000	26.837	26.131	26.013	24.275	22.682	21.140
6	10	32.000	15.336	14.932	14.864	13.872	12.961	12.080
9	11	65.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	10	65.000	26.837	26.131	26.013	24.275	22.682	21.140
4	12	65.000	35.556	34.625	34.470	32.082	29.963	27.941
12	13	65.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	14	32.000	6.004	5.834	5.806	5.364	4.976	4.607
12	15	32.000	8.646	8.273	8.211	7.487	6.685	5.857
12	16	32.000	6.110	5.991	5.971	5.735	5.478	5.214
14	15	16.000	-2.186	-2.207	-2.211	-2.107	-2.123	-2.182
16	17	16.000	1.487	1.452	1.446	1.517	1.470	1.381
15	18	16.000	8.580	8.463	8.443	8.030	7.740	7.494
18	19	16.000	4.353	4.313	4.306	4.174	4.076	3.990
19	20	32.000	-8.196	-8.009	-7.978	-7.274	-6.802	-6.413
10	20	32.000	11.102	10.862	10.822	9.925	9.321	8.822
10	17	32.000	10.402	10.221	10.191	9.328	8.835	8.474
10	21	32.000	10.056	9.677	9.613	9.198	8.449	7.580
10	22	32.000	2.951	2.780	2.751	2.707	2.398	1.993
21	22	65.000	-13.062	-13.021	-13.014	-11.889	-11.589	-11.582
15	23	16.000	-12.952	-13.032	-13.045	-12.531	-12.566	-12.798
22	24	16.000	-10.111	-10.241	-10.263	-9.182	-9.191	-9.589
23	24	16.000	2.820	2.818	2.817	3.613	3.769	3.698
24	25	32.000	-18.783	-18.708	-18.695	-16.053	-15.383	-15.418
25	26	16.000	4.623	4.539	4.525	4.217	4.007	3.832
25	27	32.000	-23.407	-23.247	-23.221	-20.270	-19.391	-19.251
28	27	65.000	-9.420	-9.892	-9.970	-7.415	-7.723	-9.053
27	29	16.000	7.980	7.835	7.811	7.279	6.917	6.615
27	30	16.000	9.193	9.026	8.998	8.386	7.968	7.620
29	30	16.000	4.810	4.722	4.708	4.387	4.169	3.987
8	28	32.000	-7.168	-7.166	-7.166	-6.303	-6.125	-6.191
6	28	32.000	-2.252	-2.725	-2.804	-1.112	-1.598	-2.863

**Tabel 12. Daya Saluran Kasus 1b**

Dari Bus	Ke Bus	Kapasitas Saluran (kw)	Jam					
			1	2	3	4	5	6
1	2	130.000	65.493	64.914	65.493	65.407	64.571	64.407
1	3	130.000	34.507	35.086	34.507	34.593	35.429	35.593
2	4	65.000	23.007	23.983	23.007	23.151	24.543	24.801
3	4	130.000	32.107	32.641	32.107	32.186	32.877	32.950
2	5	130.000	16.485	17.050	16.485	16.569	17.806	18.383
2	6	65.000	26.501	27.563	26.501	26.657	28.795	29.691
4	6	90.000	21.475	22.104	21.475	21.568	25.269	28.203
5	7	70.000	16.485	17.050	16.485	16.569	17.806	18.383
6	7	130.000	6.315	6.183	6.315	6.295	6.437	6.727
6	8	65.000	22.857	23.426	22.857	22.941	24.748	25.881
6	9	65.000	17.420	17.979	17.420	17.502	19.229	20.294
6	10	32.000	9.954	10.274	9.954	10.001	10.988	11.597
9	11	65.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	10	65.000	17.420	17.979	17.420	17.502	19.229	20.294
4	12	65.000	23.039	23.776	23.039	23.147	25.600	27.178
12	13	65.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	14	32.000	3.722	3.857	3.722	3.742	4.183	4.465
12	15	32.000	3.631	3.926	3.631	3.675	4.659	5.294
12	16	32.000	4.486	4.580	4.486	4.499	4.848	5.085
14	15	16.000	-2.478	-2.461	-2.478	-2.476	-2.409	-2.363
16	17	16.000	0.986	1.013	0.986	0.990	1.127	1.230
15	18	16.000	6.992	7.085	6.992	7.006	7.329	7.541
18	19	16.000	3.792	3.824	3.792	3.797	3.926	4.017
19	20	32.000	-5.708	-5.856	-5.708	-5.730	-6.175	-6.445
10	20	32.000	7.908	8.098	7.908	7.936	8.514	8.868
10	17	32.000	8.014	8.158	8.014	8.036	8.443	8.682
10	21	32.000	4.991	5.291	4.991	5.035	5.984	6.577
10	22	32.000	0.661	0.797	0.661	0.681	1.109	1.377
21	22	65.000	-12.509	-12.542	-12.509	-12.514	-12.624	-12.695
15	23	16.000	-14.039	-13.976	-14.039	-14.030	-13.798	-13.641
22	24	16.000	-11.848	-11.745	-11.848	-11.833	-11.515	-11.319
23	24	16.000	2.761	2.763	2.761	2.761	2.799	2.834
24	25	32.000	-17.787	-17.847	-17.787	-17.796	-17.966	-18.066
25	26	16.000	3.500	3.567	3.500	3.510	3.722	3.855
25	27	32.000	-21.287	-21.414	-21.287	-21.306	-21.688	-21.920
28	27	65.000	-15.713	-15.339	-15.713	-15.658	-14.490	-13.763
27	29	16.000	6.041	6.156	6.041	6.058	6.423	6.653
27	30	16.000	6.959	7.091	6.959	6.979	7.400	7.664
29	30	16.000	3.641	3.710	3.641	3.651	3.871	4.010
8	28	32.000	-7.143	-7.144	-7.143	-7.143	-7.151	-7.158
6	28	32.000	-8.570	-8.196	-8.570	-8.515	-7.338	-6.605

Dari Bus	Ke Bus	Kapasitas Saluran (kw)	Jam					
			7	8	9	10	11	12
1	2	130.000	64.012	62.680	63.425	59.329	54.517	48.507
1	3	130.000	35.988	37.320	34.373	28.469	23.281	19.291
2	4	65.000	25.486	27.716	23.431	16.872	11.549	8.304
3	4	130.000	33.393	34.541	31.445	25.474	20.274	16.418
2	5	130.000	18.346	20.068	18.303	15.863	12.901	11.283
2	6	65.000	29.812	32.861	28.311	22.605	15.971	12.945
4	6	90.000	25.839	30.080	27.818	30.017	22.789	22.961
5	7	70.000	18.346	20.068	18.303	15.863	12.901	11.283
6	7	130.000	6.306	6.335	9.513	12.591	15.668	16.008
6	8	65.000	25.284	27.578	29.509	29.965	30.236	29.367
6	9	65.000	19.757	21.964	13.407	9.548	-1.773	-4.607
6	10	32.000	11.290	12.551	7.661	5.456	-1.013	-2.633
9	11	65.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	10	65.000	19.757	21.964	13.407	9.548	-1.773	-4.607
4	12	65.000	26.292	29.376	14.786	8.844	-3.490	-10.336
12	13	65.000	0.000	0.000	-21.600	-30.240	-42.186	-54.284
12	14	32.000	4.310	4.867	5.887	6.263	6.503	7.312
12	15	32.000	4.937	6.174	9.196	10.259	11.058	14.455
12	16	32.000	4.936	5.366	7.639	8.584	7.102	8.775
14	15	16.000	-2.394	-2.313	-1.677	-1.474	-1.266	-0.110
16	17	16.000	1.152	1.313	3.369	4.216	2.716	4.586
15	18	16.000	7.416	7.819	9.163	9.772	8.524	8.825
18	19	16.000	3.956	4.113	5.259	5.779	4.514	4.995
19	20	32.000	-6.315	-6.888	-6.331	-6.077	-7.389	-6.377
10	20	32.000	8.694	9.435	9.015	8.823	10.146	9.010
10	17	32.000	8.579	9.109	7.611	7.016	8.561	6.187
10	21	32.000	6.267	7.473	0.133	-3.225	-16.148	-16.616
10	22	32.000	1.237	1.782	-2.767	-4.847	-12.612	-12.763
21	22	65.000	-12.654	-12.792	-21.217	-25.065	-38.075	-37.564
15	23	16.000	-13.739	-13.453	-11.648	-11.221	-9.006	-4.295
22	24	16.000	-11.417	-11.011	-5.983	-4.713	4.513	7.273
23	24	16.000	2.801	2.841	4.448	4.785	1.984	1.874
24	25	32.000	-18.023	-18.244	-12.149	-10.785	-4.404	-1.266
25	26	16.000	3.784	4.053	4.270	4.368	4.386	4.190
25	27	32.000	-21.807	-22.297	-16.419	-15.153	-8.790	-5.456
28	27	65.000	-14.138	-12.649	-11.053	-12.413	-11.712	-8.773
27	29	16.000	6.531	6.995	7.370	7.539	7.569	7.231
27	30	16.000	7.524	8.059	8.490	8.685	8.720	8.330
29	30	16.000	3.936	4.216	4.442	4.544	4.562	4.358
8	28	32.000	-7.152	-7.162	-7.091	-7.475	-7.354	-6.543
6	28	32.000	-6.985	-5.487	-3.963	-4.938	-4.357	-2.231



Dari Bus	Ke Bus	Kapasitas Saluran (kw)	Jam					
			13	14	15	16	17	18
1	2	130.000	45.197	41.187	45.520	49.910	54.304	59.321
1	3	130.000	18.327	18.813	24.480	30.090	35.696	40.679
2	4	65.000	8.150	10.206	16.339	22.385	28.424	33.373
3	4	130.000	15.378	15.794	21.444	27.071	32.703	37.595
2	5	130.000	11.580	12.697	15.217	17.831	20.463	23.452
2	6	65.000	13.280	15.467	20.996	26.877	32.838	39.094
4	6	90.000	25.124	26.228	25.041	25.810	26.968	34.087
5	7	70.000	11.580	12.697	15.217	17.831	20.463	23.452
6	7	130.000	16.441	15.986	13.625	10.851	7.968	5.846
6	8	65.000	30.307	31.954	31.707	31.175	30.506	31.326
6	9	65.000	-4.245	-5.258	0.239	7.484	15.277	24.948
6	10	32.000	-2.426	-3.005	0.137	4.277	8.730	14.256
9	11	65.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	10	65.000	-4.245	-5.258	0.239	7.484	15.277	24.948
4	12	65.000	-13.937	-12.788	0.128	11.085	21.683	33.114
12	13	65.000	-61.920	-62.132	-41.256	-27.332	-12.450	-1.440
12	14	32.000	7.630	8.168	7.178	6.767	5.936	5.795
12	15	32.000	15.277	16.902	13.333	11.944	9.111	8.247
12	16	32.000	11.311	10.183	6.705	5.617	5.119	6.120
14	15	16.000	0.011	0.368	-0.665	-1.033	-1.795	-2.172
16	17	16.000	7.010	5.780	2.277	1.214	0.755	1.623
15	18	16.000	10.688	9.638	7.811	7.255	7.420	8.512
18	19	16.000	6.755	5.613	3.763	3.229	3.430	4.400
19	20	32.000	-4.920	-6.338	-8.255	-8.722	-8.417	-7.807
10	20	32.000	7.624	9.106	11.038	11.489	11.160	10.634
10	17	32.000	4.051	5.542	9.108	10.108	10.468	9.942
10	21	32.000	-14.129	-17.045	-15.097	-8.874	-1.215	8.858
10	22	32.000	-11.345	-13.162	-12.010	-8.260	-3.639	2.316
21	22	65.000	-35.637	-39.060	-37.234	-30.889	-23.038	-13.630
15	23	16.000	-5.478	-2.683	-5.516	-6.660	-10.329	-12.974
22	24	16.000	4.618	10.178	8.356	4.052	-2.677	-10.114
23	24	16.000	5.589	3.291	0.436	-0.685	0.680	2.914
24	25	32.000	-0.486	2.525	-2.214	-7.579	-12.845	-18.379
25	26	16.000	4.302	4.403	4.428	4.403	4.365	4.498
25	27	32.000	-4.787	-1.878	-6.641	-11.982	-17.210	-22.877
28	27	65.000	-8.236	-3.768	-5.914	-7.664	-9.579	-10.418
27	29	16.000	7.424	7.599	7.642	7.599	7.533	7.762
27	30	16.000	8.553	8.755	8.803	8.755	8.678	8.943
29	30	16.000	4.475	4.580	4.606	4.580	4.540	4.678
8	28	32.000	-6.563	-5.786	-6.243	-6.565	-6.904	-7.224
6	28	32.000	-1.673	2.018	0.329	-1.100	-2.675	-3.195

Dari Bus	Ke Bus	Kapasitas Saluran (kw)	Jam					
			19	20	21	22	23	24
1	2	130.000	57.714	58.445	58.567	59.799	61.375	63.018
1	3	130.000	42.286	41.555	41.433	40.201	38.625	36.982
2	4	65.000	36.096	34.862	34.656	32.604	29.950	27.175
3	4	130.000	39.116	38.442	38.330	37.309	35.877	34.354
2	5	130.000	24.912	24.199	24.080	22.311	20.736	19.183
2	6	65.000	41.974	40.632	40.408	37.370	34.478	31.534
4	6	90.000	35.475	34.681	34.548	29.598	27.865	26.409
5	7	70.000	24.912	24.199	24.080	22.311	20.736	19.183
6	7	130.000	5.207	5.373	5.401	5.163	5.370	5.783
6	8	65.000	32.457	31.738	31.619	29.074	27.418	25.921
6	9	65.000	26.765	26.058	25.940	23.504	21.880	20.400
6	10	32.000	15.294	14.890	14.823	13.431	12.503	11.657
9	11	65.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	10	65.000	26.765	26.058	25.940	23.504	21.880	20.400
4	12	65.000	35.697	34.766	34.611	31.158	28.992	27.065
12	13	65.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	14	32.000	6.021	5.851	5.823	5.200	4.804	4.451
12	15	32.000	8.706	8.333	8.271	6.907	6.078	5.306
12	16	32.000	6.175	6.056	6.036	5.554	5.286	5.044
14	15	16.000	-2.169	-2.190	-2.194	-2.271	-2.295	-2.338
16	17	16.000	1.551	1.516	1.510	1.337	1.279	1.211
15	18	16.000	8.616	8.499	8.479	8.015	7.722	7.481
18	19	16.000	4.389	4.348	4.342	4.159	4.058	3.977
19	20	32.000	-8.161	-7.973	-7.942	-7.289	-6.819	-6.426
10	20	32.000	11.067	10.827	10.787	9.940	9.338	8.835
10	17	32.000	10.338	10.157	10.127	9.508	9.026	8.644
10	21	32.000	10.047	9.668	9.605	8.319	7.531	6.740
10	22	32.000	2.946	2.774	2.746	2.180	1.847	1.489
21	22	65.000	-13.071	-13.030	-13.023	-12.769	-12.507	-12.423
15	23	16.000	-12.912	-12.991	-13.005	-13.259	-13.329	-13.492
22	24	16.000	-10.125	-10.255	-10.277	-10.589	-10.660	-10.934
23	24	16.000	2.861	2.858	2.858	2.885	3.007	3.004
24	25	32.000	-18.756	-18.681	-18.668	-18.187	-17.614	-17.456
25	26	16.000	4.624	4.540	4.526	4.218	4.008	3.833
25	27	32.000	-23.380	-23.220	-23.194	-22.405	-21.622	-21.289
28	27	65.000	-9.447	-9.919	-9.997	-11.281	-11.759	-12.747
27	29	16.000	7.980	7.835	7.811	7.279	6.917	6.615
27	30	16.000	9.193	9.026	8.998	8.386	7.968	7.620
29	30	16.000	4.810	4.722	4.708	4.387	4.169	3.987
8	28	32.000	-7.173	-7.172	-7.171	-7.076	-6.932	-6.929
6	28	32.000	-2.274	-2.747	-2.826	-4.204	-4.828	-5.818

**Tabel 13. Daya Saluran Kasus 2a**

Dari Bus	Ke Bus	Kapasitas Saluran (kw)	Jam					
			1	2	3	4	5	6
1	2	130.000	65.493	64.914	65.493	65.407	64.571	64.407
1	3	130.000	34.507	35.086	34.507	34.593	35.429	35.593
2	4	65.000	23.007	23.983	23.007	23.151	24.543	24.801
3	4	130.000	32.107	32.641	32.107	32.186	32.877	32.950
2	5	130.000	16.485	17.050	16.485	16.569	17.806	18.383
2	6	65.000	26.501	27.563	26.501	26.657	28.795	29.691
4	6	90.000	21.475	22.104	21.475	21.568	25.269	28.203
5	7	70.000	16.485	17.050	16.485	16.569	17.806	18.383
6	7	130.000	6.315	6.183	6.315	6.295	6.437	6.727
6	8	65.000	22.857	23.426	22.857	22.941	24.748	25.881
6	9	65.000	17.420	17.979	17.420	17.502	19.229	20.294
6	10	32.000	9.954	10.274	9.954	10.001	10.988	11.597
9	11	65.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	10	65.000	17.420	17.979	17.420	17.502	19.229	20.294
4	12	65.000	23.039	23.776	23.039	23.147	25.600	27.178
12	13	65.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	14	32.000	3.722	3.857	3.722	3.742	4.183	4.465
12	15	32.000	3.631	3.926	3.631	3.675	4.659	5.294
12	16	32.000	4.486	4.580	4.486	4.499	4.848	5.085
14	15	16.000	-2.478	-2.461	-2.478	-2.476	-2.409	-2.363
16	17	16.000	0.986	1.013	0.986	0.990	1.127	1.230
15	18	16.000	6.992	7.085	6.992	7.006	7.329	7.541
18	19	16.000	3.792	3.824	3.792	3.797	3.926	4.017
19	20	32.000	-5.708	-5.856	-5.708	-5.730	-6.175	-6.445
10	20	32.000	7.908	8.098	7.908	7.936	8.514	8.868
10	17	32.000	8.014	8.158	8.014	8.036	8.443	8.682
10	21	32.000	4.991	5.291	4.991	5.035	5.984	6.577
10	22	32.000	0.661	0.797	0.661	0.681	1.109	1.377
21	22	65.000	-12.509	-12.542	-12.509	-12.514	-12.624	-12.695
15	23	16.000	-14.039	-13.976	-14.039	-14.030	-13.798	-13.641
22	24	16.000	-11.848	-11.745	-11.848	-11.833	-11.515	-11.319
23	24	16.000	2.761	2.763	2.761	2.761	2.799	2.834
24	25	32.000	-17.787	-17.847	-17.787	-17.796	-17.966	-18.066
25	26	16.000	3.500	3.567	3.500	3.510	3.722	3.855
25	27	32.000	-21.287	-21.414	-21.287	-21.306	-21.688	-21.920
28	27	65.000	-15.713	-15.339	-15.713	-15.658	-14.490	-13.763
27	29	16.000	6.041	6.156	6.041	6.058	6.423	6.653
27	30	16.000	6.959	7.091	6.959	6.979	7.400	7.664
29	30	16.000	3.641	3.710	3.641	3.651	3.871	4.010
8	28	32.000	-7.143	-7.144	-7.143	-7.143	-7.151	-7.158
6	28	32.000	-8.570	-8.196	-8.570	-8.515	-7.338	-6.605

Dari Bus	Ke Bus	Kapasitas Saluran (kw)	Jam					
			7	8	9	10	11	12
1	2	130.000	64.012	62.680	63.426	59.331	54.519	48.509
1	3	130.000	35.988	37.320	34.374	28.470	23.282	19.292
2	4	65.000	25.486	27.716	23.431	16.873	11.549	8.304
3	4	130.000	33.393	34.541	31.446	25.475	20.274	16.419
2	5	130.000	18.346	20.068	18.303	15.864	12.901	11.284
2	6	65.000	29.812	32.861	28.311	22.606	15.972	12.946
4	6	90.000	25.839	30.080	27.819	30.018	22.790	22.962
5	7	70.000	18.346	20.068	18.303	15.864	12.901	11.284
6	7	130.000	6.306	6.335	9.513	12.591	15.667	16.008
6	8	65.000	25.284	27.578	29.510	29.966	30.236	29.368
6	9	65.000	19.757	21.964	13.408	9.548	-1.772	-4.607
6	10	32.000	11.290	12.551	7.662	5.456	-1.013	-2.632
9	11	65.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	10	65.000	19.757	21.964	13.408	9.548	-1.772	-4.607
4	12	65.000	26.292	29.376	14.786	8.844	-3.489	-10.335
12	13	65.000	0.000	0.000	-21.600	-30.240	-42.186	-54.284
12	14	32.000	4.310	4.867	5.888	6.263	6.503	7.312
12	15	32.000	4.937	6.174	9.196	10.259	11.058	14.455
12	16	32.000	4.936	5.366	7.639	8.584	7.102	8.776
14	15	16.000	-2.394	-2.313	-1.676	-1.474	-1.266	-0.110
16	17	16.000	1.152	1.313	3.369	4.216	2.716	4.586
15	18	16.000	7.416	7.819	9.163	9.772	8.524	8.825
18	19	16.000	3.956	4.113	5.259	5.779	4.514	4.995
19	20	32.000	-6.315	-6.888	-6.331	-6.077	-7.389	-6.377
10	20	32.000	8.694	9.435	9.015	8.823	10.146	9.010
10	17	32.000	8.579	9.109	7.611	7.016	8.561	6.187
10	21	32.000	6.267	7.473	0.134	-3.225	-16.147	-16.616
10	22	32.000	1.237	1.782	-2.766	-4.847	-12.612	-12.763
21	22	65.000	-12.654	-12.792	-21.216	-25.065	-38.075	-37.564
15	23	16.000	-13.739	-13.453	-11.648	-11.221	-9.006	-4.295
22	24	16.000	-11.417	-11.011	-5.983	-4.712	4.513	7.274
23	24	16.000	2.801	2.841	4.448	4.785	1.985	1.875
24	25	32.000	-18.023	-18.244	-12.148	-10.784	-4.403	-1.265
25	26	16.000	3.784	4.053	4.270	4.368	4.386	4.190
25	27	32.000	-21.807	-22.297	-16.418	-15.152	-8.789	-5.455
28	27	65.000	-14.138	-12.649	-11.051	-12.411	-11.710	-8.772
27	29	16.000	6.531	6.995	7.370	7.539	7.569	7.231
27	30	16.000	7.524	8.059	8.490	8.685	8.720	8.330
29	30	16.000	3.936	4.216	4.442	4.544	4.562	4.358
8	28	32.000	-7.152	-7.162	-7.090	-7.474	-7.354	-6.542
6	28	32.000	-6.985	-5.487	-3.961	-4.937	-4.356	-2.229

Dari Bus	Ke Bus	Kapasitas Saluran (kw)	Jam					
			13	14	15	16	17	18
1	2	130.000	41.213	38.561	42.742	47.132	51.526	56.620
1	3	130.000	17.563	18.582	24.401	30.012	35.617	40.524
2	4	65.000	8.522	10.809	17.213	23.259	29.298	34.111
3	4	130.000	14.614	15.515	21.365	26.992	32.624	37.416
2	5	130.000	11.702	13.097	15.557	18.172	20.804	23.822
2	6	65.000	13.550	16.154	21.753	27.634	33.595	39.815
4	6	90.000	24.755	26.755	24.733	25.502	26.659	34.197
5	7	70.000	11.702	13.097	15.557	18.172	20.804	23.822
6	7	130.000	16.319	16.042	13.285	10.511	7.628	5.704
6	8	65.000	30.308	32.524	31.737	31.205	30.536	31.626
6	9	65.000	-4.233	-5.061	0.645	7.890	15.683	25.249
6	10	32.000	-2.419	-2.892	0.369	4.509	8.962	14.428
9	11	65.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	10	65.000	-4.233	-5.061	0.645	7.890	15.683	25.249
4	12	65.000	-13.960	-13.144	1.231	12.188	22.786	33.488
12	13	65.000	-61.920	-64.024	-39.364	-25.440	-10.558	-1.440
12	14	32.000	7.628	8.401	7.084	6.672	5.842	5.864
12	15	32.000	15.267	17.535	12.999	11.610	8.777	8.397
12	16	32.000	11.301	10.630	6.345	5.256	4.759	6.164
14	15	16.000	0.008	0.477	-0.759	-1.127	-1.889	-2.165
16	17	16.000	6.999	6.157	1.917	0.853	0.395	1.631
15	18	16.000	10.682	9.929	7.611	7.055	7.220	8.557
18	19	16.000	6.749	5.839	3.563	3.029	3.230	4.413
19	20	32.000	-4.926	-6.302	-8.454	-8.922	-8.617	-7.889
10	20	32.000	7.630	9.113	11.237	11.689	11.360	10.738
10	17	32.000	4.062	5.345	9.468	10.469	10.828	10.024
10	21	32.000	-14.128	-16.776	-15.048	-8.825	-1.166	9.016
10	22	32.000	-11.344	-13.048	-11.980	-8.230	-3.610	2.388
21	22	65.000	-35.636	-39.141	-37.185	-30.840	-22.989	-13.646
15	23	16.000	-5.485	-2.396	-5.745	-6.888	-10.558	-12.945
22	24	16.000	4.620	10.211	8.434	4.130	-2.599	-10.058
23	24	16.000	5.582	3.514	0.207	-0.914	0.452	2.911
24	25	32.000	-0.490	2.607	-2.364	-7.729	-12.996	-18.413
25	26	16.000	4.302	4.473	4.428	4.403	4.365	4.533
25	27	32.000	-4.792	-1.866	-6.791	-12.132	-17.360	-22.946
28	27	65.000	-8.231	-3.520	-5.764	-7.514	-9.429	-10.219
27	29	16.000	7.424	7.720	7.642	7.599	7.533	7.823
27	30	16.000	8.553	8.894	8.803	8.755	8.678	9.012
29	30	16.000	4.475	4.653	4.606	4.580	4.540	4.715
8	28	32.000	-6.562	-5.816	-6.213	-6.535	-6.874	-7.224
6	28	32.000	-1.669	2.296	0.449	-0.979	-2.555	-2.995

Dari Bus	Ke Bus	Kapasitas Saluran (kw)	Jam					
			19	20	21	22	23	24
1	2	130.000	56.861	57.409	58.567	59.799	61.375	63.018
1	3	130.000	43.139	42.591	41.433	40.201	38.625	36.982
2	4	65.000	37.535	36.610	34.656	32.604	29.949	27.175
3	4	130.000	39.902	39.397	38.330	37.309	35.877	34.354
2	5	130.000	25.744	25.209	24.080	22.311	20.736	19.183
2	6	65.000	43.539	42.533	40.408	37.370	34.478	31.533
4	6	90.000	36.402	35.806	34.548	29.598	27.868	26.407
5	7	70.000	25.744	25.209	24.080	22.311	20.736	19.183
6	7	130.000	5.013	5.138	5.401	5.163	5.370	5.783
6	8	65.000	33.295	32.756	31.619	29.074	27.419	25.920
6	9	65.000	27.589	27.059	25.940	23.504	21.880	20.400
6	10	32.000	15.765	15.462	14.823	13.431	12.503	11.657
9	11	65.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	10	65.000	27.589	27.059	25.940	23.504	21.880	20.400
4	12	65.000	36.782	36.085	34.611	31.158	28.993	27.065
12	13	65.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	14	32.000	6.220	6.092	5.823	5.200	4.804	4.451
12	15	32.000	9.141	8.861	8.271	6.907	6.078	5.306
12	16	32.000	6.314	6.224	6.036	5.554	5.287	5.044
14	15	16.000	-2.144	-2.160	-2.194	-2.271	-2.295	-2.338
16	17	16.000	1.592	1.566	1.510	1.337	1.279	1.211
15	18	16.000	8.753	8.665	8.479	8.015	7.722	7.481
18	19	16.000	4.436	4.406	4.342	4.159	4.058	3.977
19	20	32.000	-8.379	-8.239	-7.942	-7.289	-6.819	-6.426
10	20	32.000	11.347	11.167	10.787	9.940	9.338	8.835
10	17	32.000	10.549	10.413	10.127	9.508	9.026	8.644
10	21	32.000	10.489	10.205	9.605	8.319	7.531	6.739
10	22	32.000	3.146	3.017	2.746	2.180	1.847	1.488
21	22	65.000	-13.119	-13.088	-13.023	-12.769	-12.506	-12.423
15	23	16.000	-12.819	-12.878	-13.005	-13.259	-13.328	-13.492
22	24	16.000	-9.973	-10.071	-10.277	-10.589	-10.659	-10.935
23	24	16.000	2.865	2.862	2.858	2.885	3.008	3.004
24	25	32.000	-18.844	-18.788	-18.668	-18.187	-17.613	-17.457
25	26	16.000	4.722	4.659	4.526	4.218	4.008	3.833
25	27	32.000	-23.566	-23.446	-23.194	-22.405	-21.620	-21.290
28	27	65.000	-8.897	-9.251	-9.997	-11.281	-11.757	-12.749
27	29	16.000	8.149	8.040	7.811	7.279	6.917	6.615
27	30	16.000	9.388	9.263	8.998	8.386	7.968	7.620
29	30	16.000	4.911	4.846	4.708	4.387	4.169	3.987
8	28	32.000	-7.175	-7.174	-7.171	-7.076	-6.931	-6.930
6	28	32.000	-1.722	-2.077	-2.826	-4.204	-4.826	-5.819

**Tabel 14. Daya Saluran Kasus 2b**

Dari Bus	Ke Bus	Kapasitas Saluran (kw)	Jam					
			1	2	3	4	5	6
1	2	130.000	65.493	64.914	65.493	65.407	64.571	64.407
1	3	130.000	34.507	35.086	34.507	34.593	35.429	35.593
2	4	65.000	23.007	23.983	23.007	23.151	24.543	24.801
3	4	130.000	32.107	32.641	32.107	32.186	32.877	32.950
2	5	130.000	16.485	17.050	16.485	16.569	17.806	18.383
2	6	65.000	26.501	27.563	26.501	26.657	28.795	29.691
4	6	90.000	21.475	22.104	21.475	21.568	25.269	28.203
5	7	70.000	16.485	17.050	16.485	16.569	17.806	18.383
6	7	130.000	6.315	6.183	6.315	6.295	6.437	6.727
6	8	65.000	22.857	23.426	22.857	22.941	24.748	25.881
6	9	65.000	17.420	17.979	17.420	17.502	19.229	20.294
6	10	32.000	9.954	10.274	9.954	10.001	10.988	11.597
9	11	65.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	10	65.000	17.420	17.979	17.420	17.502	19.229	20.294
4	12	65.000	23.039	23.776	23.039	23.147	25.600	27.178
12	13	65.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	14	32.000	3.722	3.857	3.722	3.742	4.183	4.465
12	15	32.000	3.631	3.926	3.631	3.675	4.659	5.294
12	16	32.000	4.486	4.580	4.486	4.499	4.848	5.085
14	15	16.000	-2.478	-2.461	-2.478	-2.476	-2.409	-2.363
16	17	16.000	0.986	1.013	0.986	0.990	1.127	1.230
15	18	16.000	6.992	7.085	6.992	7.006	7.329	7.541
18	19	16.000	3.792	3.824	3.792	3.797	3.926	4.017
19	20	32.000	-5.708	-5.856	-5.708	-5.730	-6.175	-6.445
10	20	32.000	7.908	8.098	7.908	7.936	8.514	8.868
10	17	32.000	8.014	8.158	8.014	8.036	8.443	8.682
10	21	32.000	4.991	5.291	4.991	5.035	5.984	6.577
10	22	32.000	0.661	0.797	0.661	0.681	1.109	1.377
21	22	65.000	-12.509	-12.542	-12.509	-12.514	-12.624	-12.695
15	23	16.000	-14.039	-13.976	-14.039	-14.030	-13.798	-13.641
22	24	16.000	-11.848	-11.745	-11.848	-11.833	-11.515	-11.319
23	24	16.000	2.761	2.763	2.761	2.761	2.799	2.834
24	25	32.000	-17.787	-17.847	-17.787	-17.796	-17.966	-18.066
25	26	16.000	3.500	3.567	3.500	3.510	3.722	3.855
25	27	32.000	-21.287	-21.414	-21.287	-21.306	-21.688	-21.920
28	27	65.000	-15.713	-15.339	-15.713	-15.658	-14.490	-13.763
27	29	16.000	6.041	6.156	6.041	6.058	6.423	6.653
27	30	16.000	6.959	7.091	6.959	6.979	7.400	7.664
29	30	16.000	3.641	3.710	3.641	3.651	3.871	4.010
8	28	32.000	-7.143	-7.144	-7.143	-7.143	-7.151	-7.158
6	28	32.000	-8.570	-8.196	-8.570	-8.515	-7.338	-6.605

Dari Bus	Ke Bus	Kapasitas Saluran (kw)	Jam					
			7	8	9	10	11	12
1	2	130.000	64.012	62.680	63.427	59.331	54.519	48.509
1	3	130.000	35.988	37.320	34.374	28.470	23.282	19.292
2	4	65.000	25.486	27.716	23.431	16.873	11.549	8.304
3	4	130.000	33.393	34.541	31.446	25.475	20.274	16.419
2	5	130.000	18.346	20.068	18.303	15.864	12.901	11.284
2	6	65.000	29.812	32.861	28.312	22.606	15.972	12.946
4	6	90.000	25.839	30.080	27.819	30.018	22.790	22.962
5	7	70.000	18.346	20.068	18.303	15.864	12.901	11.284
6	7	130.000	6.306	6.335	9.513	12.591	15.667	16.008
6	8	65.000	25.284	27.578	29.510	29.966	30.236	29.368
6	9	65.000	19.757	21.964	13.408	9.548	-1.772	-4.607
6	10	32.000	11.290	12.551	7.662	5.456	-1.013	-2.632
9	11	65.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	10	65.000	19.757	21.964	13.408	9.548	-1.772	-4.607
4	12	65.000	26.292	29.376	14.786	8.844	-3.489	-10.335
12	13	65.000	0.000	0.000	-21.600	-30.240	-42.186	-54.284
12	14	32.000	4.310	4.867	5.888	6.263	6.503	7.312
12	15	32.000	4.937	6.174	9.196	10.259	11.058	14.455
12	16	32.000	4.936	5.366	7.639	8.584	7.102	8.776
14	15	16.000	-2.394	-2.313	-1.676	-1.474	-1.266	-0.110
16	17	16.000	1.152	1.313	3.369	4.216	2.716	4.586
15	18	16.000	7.416	7.819	9.163	9.772	8.524	8.825
18	19	16.000	3.956	4.113	5.259	5.779	4.514	4.995
19	20	32.000	-6.315	-6.888	-6.331	-6.077	-7.389	-6.377
10	20	32.000	8.694	9.435	9.015	8.823	10.146	9.010
10	17	32.000	8.579	9.109	7.611	7.016	8.561	6.187
10	21	32.000	6.267	7.473	0.134	-3.225	-16.147	-16.616
10	22	32.000	1.237	1.782	-2.766	-4.847	-12.612	-12.763
21	22	65.000	-12.654	-12.792	-21.216	-25.065	-38.075	-37.564
15	23	16.000	-13.739	-13.453	-11.648	-11.221	-9.006	-4.295
22	24	16.000	-11.417	-11.011	-5.983	-4.712	4.513	7.274
23	24	16.000	2.801	2.841	4.448	4.785	1.985	1.875
24	25	32.000	-18.023	-18.244	-12.148	-10.784	-4.403	-1.265
25	26	16.000	3.784	4.053	4.270	4.368	4.386	4.190
25	27	32.000	-21.807	-22.297	-16.418	-15.152	-8.789	-5.455
28	27	65.000	-14.138	-12.649	-11.051	-12.411	-11.710	-8.772
27	29	16.000	6.531	6.995	7.370	7.539	7.569	7.231
27	30	16.000	7.524	8.059	8.490	8.685	8.720	8.330
29	30	16.000	3.936	4.216	4.442	4.544	4.562	4.358
8	28	32.000	-7.152	-7.162	-7.090	-7.474	-7.354	-6.542
6	28	32.000	-6.985	-5.487	-3.961	-4.937	-4.356	-2.229



Dari Bus	Ke Bus	Kapasitas Saluran (kw)	Jam					
			13	14	15	16	17	18
1	2	130.000	41.213	38.561	42.742	47.132	51.526	56.620
1	3	130.000	17.563	18.582	24.401	30.012	35.617	40.524
2	4	65.000	8.522	10.809	17.213	23.259	29.298	34.111
3	4	130.000	14.614	15.515	21.365	26.992	32.624	37.416
2	5	130.000	11.702	13.097	15.557	18.172	20.804	23.822
2	6	65.000	13.550	16.154	21.753	27.634	33.595	39.815
4	6	90.000	24.755	26.755	24.733	25.502	26.659	34.197
5	7	70.000	11.702	13.097	15.557	18.172	20.804	23.822
6	7	130.000	16.319	16.042	13.285	10.511	7.628	5.704
6	8	65.000	30.308	32.524	31.737	31.205	30.536	31.626
6	9	65.000	-4.233	-5.061	0.645	7.890	15.683	25.249
6	10	32.000	-2.419	-2.892	0.369	4.509	8.962	14.428
9	11	65.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	10	65.000	-4.233	-5.061	0.645	7.890	15.683	25.249
4	12	65.000	-13.960	-13.144	1.231	12.188	22.786	33.488
12	13	65.000	-61.920	-64.024	-39.364	-25.440	-10.558	-1.440
12	14	32.000	7.628	8.401	7.084	6.672	5.842	5.864
12	15	32.000	15.267	17.535	12.999	11.610	8.777	8.397
12	16	32.000	11.301	10.630	6.345	5.256	4.759	6.164
14	15	16.000	0.008	0.477	-0.759	-1.127	-1.889	-2.165
16	17	16.000	6.999	6.157	1.917	0.853	0.395	1.631
15	18	16.000	10.682	9.929	7.611	7.055	7.220	8.557
18	19	16.000	6.749	5.839	3.563	3.029	3.230	4.413
19	20	32.000	-4.926	-6.302	-8.454	-8.922	-8.617	-7.889
10	20	32.000	7.630	9.113	11.237	11.689	11.360	10.738
10	17	32.000	4.062	5.345	9.468	10.469	10.828	10.024
10	21	32.000	-14.128	-16.776	-15.048	-8.825	-1.166	9.016
10	22	32.000	-11.344	-13.048	-11.980	-8.230	-3.610	2.388
21	22	65.000	-35.636	-39.141	-37.185	-30.840	-22.989	-13.646
15	23	16.000	-5.485	-2.396	-5.745	-6.888	-10.558	-12.945
22	24	16.000	4.620	10.211	8.434	4.130	-2.599	-10.058
23	24	16.000	5.582	3.514	0.207	-0.914	0.452	2.911
24	25	32.000	-0.490	2.607	-2.364	-7.729	-12.996	-18.413
25	26	16.000	4.302	4.473	4.428	4.403	4.365	4.533
25	27	32.000	-4.792	-1.866	-6.791	-12.132	-17.360	-22.946
28	27	65.000	-8.231	-3.520	-5.764	-7.514	-9.429	-10.219
27	29	16.000	7.424	7.720	7.642	7.599	7.533	7.823
27	30	16.000	8.553	8.894	8.803	8.755	8.678	9.012
29	30	16.000	4.475	4.653	4.606	4.580	4.540	4.715
8	28	32.000	-6.562	-5.816	-6.213	-6.535	-6.874	-7.224
6	28	32.000	-1.669	2.296	0.449	-0.979	-2.555	-2.995

Dari Bus	Ke Bus	Kapasitas Saluran (kw)	Jam					
			19	20	21	20	23	24
1	2	130.000	56.861	57.409	58.567	59.799	61.375	63.018
1	3	130.000	43.139	42.591	41.433	40.201	38.625	36.982
2	4	65.000	37.535	36.610	34.656	32.604	29.949	27.175
3	4	130.000	39.902	39.397	38.330	37.309	35.877	34.354
2	5	130.000	25.744	25.209	24.080	22.311	20.736	19.183
2	6	65.000	43.539	42.533	40.408	37.370	34.478	31.534
4	6	90.000	36.402	35.806	34.548	29.598	27.866	26.408
5	7	70.000	25.744	25.209	24.080	22.311	20.736	19.183
6	7	130.000	5.013	5.138	5.401	5.163	5.370	5.783
6	8	65.000	33.295	32.756	31.619	29.074	27.418	25.920
6	9	65.000	27.589	27.059	25.940	23.504	21.880	20.400
6	10	32.000	15.765	15.462	14.823	13.431	12.503	11.657
9	11	65.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	10	65.000	27.589	27.059	25.940	23.504	21.880	20.400
4	12	65.000	36.782	36.085	34.611	31.158	28.993	27.065
12	13	65.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	14	32.000	6.220	6.092	5.823	5.200	4.804	4.451
12	15	32.000	9.141	8.861	8.271	6.907	6.078	5.306
12	16	32.000	6.314	6.224	6.036	5.554	5.287	5.044
14	15	16.000	-2.144	-2.160	-2.194	-2.271	-2.295	-2.338
16	17	16.000	1.592	1.566	1.510	1.337	1.279	1.211
15	18	16.000	8.753	8.665	8.479	8.015	7.722	7.481
18	19	16.000	4.436	4.406	4.342	4.159	4.058	3.977
19	20	32.000	-8.379	-8.239	-7.942	-7.289	-6.819	-6.426
10	20	32.000	11.347	11.167	10.787	9.940	9.338	8.835
10	17	32.000	10.549	10.413	10.127	9.508	9.026	8.644
10	21	32.000	10.489	10.205	9.605	8.319	7.531	6.739
10	22	32.000	3.146	3.017	2.746	2.180	1.847	1.489
21	22	65.000	-13.119	-13.088	-13.023	-12.769	-12.507	-12.423
15	23	16.000	-12.819	-12.878	-13.005	-13.259	-13.328	-13.492
22	24	16.000	-9.973	-10.071	-10.277	-10.589	-10.660	-10.935
23	24	16.000	2.865	2.862	2.858	2.885	3.008	3.004
24	25	32.000	-18.844	-18.788	-18.668	-18.187	-17.613	-17.457
25	26	16.000	4.722	4.659	4.526	4.218	4.008	3.833
25	27	32.000	-23.566	-23.446	-23.194	-22.405	-21.621	-21.289
28	27	65.000	-8.897	-9.251	-9.997	-11.281	-11.758	-12.748
27	29	16.000	8.149	8.040	7.811	7.279	6.917	6.615
27	30	16.000	9.388	9.263	8.998	8.386	7.968	7.620
29	30	16.000	4.911	4.846	4.708	4.387	4.169	3.987
8	28	32.000	-7.175	-7.174	-7.171	-7.076	-6.932	-6.930
6	28	32.000	-1.722	-2.077	-2.826	-4.204	-4.827	-5.819

**Tabel 15. Daya Saluran Kasus 2c**

Dari Bus	Ke Bus	Kapasitas Saluran (kw)	Jam					
			1	2	3	4	5	6
1	2	130.000	66.160	65.581	66.160	65.892	64.371	63.073
1	3	130.000	33.840	34.419	33.840	34.108	35.629	36.927
2	4	65.000	21.869	22.846	21.869	22.323	24.885	27.077
3	4	130.000	31.440	31.974	31.440	31.701	33.077	34.284
2	5	130.000	16.114	16.679	16.114	16.299	17.918	19.125
2	6	65.000	25.676	26.739	25.676	26.058	29.042	31.340
4	6	90.000	22.600	23.229	22.600	22.386	24.931	25.953
5	7	70.000	16.114	16.679	16.114	16.299	17.918	19.125
6	7	130.000	6.686	6.554	6.686	6.565	6.325	5.985
6	8	65.000	22.855	23.423	22.855	22.939	24.749	25.887
6	9	65.000	17.384	17.943	17.384	17.476	19.240	20.367
6	10	32.000	9.933	10.253	9.933	9.986	10.994	11.638
9	11	65.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	10	65.000	17.384	17.943	17.384	17.476	19.240	20.367
4	12	65.000	23.109	23.846	23.109	23.199	25.578	27.037
12	13	65.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	14	32.000	3.730	3.865	3.730	3.748	4.181	4.448
12	15	32.000	3.661	3.956	3.661	3.697	4.650	5.234
12	16	32.000	4.518	4.612	4.518	4.523	4.839	5.020
14	15	16.000	-2.470	-2.453	-2.470	-2.469	-2.412	-2.380
16	17	16.000	1.018	1.046	1.018	1.013	1.117	1.166
15	18	16.000	7.010	7.103	7.010	7.019	7.324	7.506
18	19	16.000	3.810	3.842	3.810	3.810	3.921	3.982
19	20	32.000	-5.690	-5.838	-5.690	-5.717	-6.180	-6.481
10	20	32.000	7.890	8.080	7.890	7.923	8.520	8.904
10	17	32.000	7.982	8.125	7.982	8.012	8.453	8.746
10	21	32.000	4.986	5.286	4.986	5.032	5.985	6.586
10	22	32.000	0.658	0.794	0.658	0.679	1.110	1.382
21	22	65.000	-12.514	-12.546	-12.514	-12.517	-12.623	-12.687
15	23	16.000	-14.019	-13.956	-14.019	-14.015	-13.804	-13.682
22	24	16.000	-11.855	-11.752	-11.855	-11.838	-11.513	-11.305
23	24	16.000	2.781	2.784	2.781	2.776	2.793	2.794
24	25	32.000	-17.774	-17.834	-17.774	-17.786	-17.970	-18.092
25	26	16.000	3.500	3.567	3.500	3.510	3.722	3.855
25	27	32.000	-21.274	-21.400	-21.274	-21.296	-21.692	-21.947
28	27	65.000	-15.726	-15.353	-15.726	-15.667	-14.485	-13.736
27	29	16.000	6.041	6.156	6.041	6.058	6.423	6.653
27	30	16.000	6.959	7.091	6.959	6.979	7.400	7.664
29	30	16.000	3.641	3.710	3.641	3.651	3.871	4.010
8	28	32.000	-7.145	-7.147	-7.145	-7.145	-7.150	-7.152
6	28	32.000	-8.581	-8.206	-8.581	-8.523	-7.335	-6.584

Dari Bus	Ke Bus	Kapasitas Saluran (kw)	Jam					
			7	8	9	10	11	12
1	2	130.000	63.686	62.680	63.424	59.329	54.517	48.507
1	3	130.000	36.314	37.320	34.373	28.469	23.281	19.291
2	4	65.000	26.043	27.716	23.431	16.872	11.549	8.304
3	4	130.000	33.719	34.541	31.445	25.474	20.273	16.418
2	5	130.000	18.527	20.068	18.303	15.863	12.901	11.283
2	6	65.000	30.216	32.861	28.311	22.605	15.971	12.945
4	6	90.000	25.288	30.080	27.818	30.017	22.789	22.960
5	7	70.000	18.527	20.068	18.303	15.863	12.901	11.283
6	7	130.000	6.124	6.335	9.513	12.591	15.668	16.008
6	8	65.000	25.285	27.578	29.509	29.965	30.236	29.367
6	9	65.000	19.775	21.964	13.407	9.548	-1.773	-4.607
6	10	32.000	11.300	12.551	7.661	5.456	-1.013	-2.633
9	11	65.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	10	65.000	19.775	21.964	13.407	9.548	-1.773	-4.607
4	12	65.000	26.258	29.376	14.786	8.844	-3.490	-10.336
12	13	65.000	0.000	0.000	-21.600	-30.240	-42.186	-54.284
12	14	32.000	4.306	4.867	5.887	6.263	6.503	7.312
12	15	32.000	4.922	6.174	9.196	10.259	11.058	14.455
12	16	32.000	4.921	5.366	7.639	8.584	7.102	8.775
14	15	16.000	-2.398	-2.313	-1.677	-1.474	-1.266	-0.110
16	17	16.000	1.136	1.313	3.369	4.216	2.716	4.586
15	18	16.000	7.407	7.819	9.163	9.772	8.524	8.825
18	19	16.000	3.948	4.113	5.259	5.779	4.514	4.995
19	20	32.000	-6.324	-6.888	-6.331	-6.077	-7.389	-6.377
10	20	32.000	8.703	9.435	9.015	8.823	10.146	9.010
10	17	32.000	8.594	9.109	7.611	7.016	8.561	6.187
10	21	32.000	6.269	7.473	0.133	-3.226	-16.148	-16.617
10	22	32.000	1.238	1.782	-2.767	-4.847	-12.612	-12.763
21	22	65.000	-12.652	-12.792	-21.217	-25.066	-38.075	-37.564
15	23	16.000	-13.749	-13.453	-11.648	-11.222	-9.006	-4.295
22	24	16.000	-11.414	-11.011	-5.983	-4.713	4.513	7.273
23	24	16.000	2.791	2.841	4.448	4.785	1.984	1.874
24	25	32.000	-18.029	-18.244	-12.150	-10.786	-4.404	-1.267
25	26	16.000	3.784	4.053	4.270	4.368	4.386	4.190
25	27	32.000	-21.813	-22.297	-16.420	-15.154	-8.790	-5.456
28	27	65.000	-14.131	-12.649	-11.053	-12.413	-11.712	-8.774
27	29	16.000	6.531	6.995	7.370	7.539	7.569	7.231
27	30	16.000	7.524	8.059	8.490	8.685	8.720	8.330
29	30	16.000	3.936	4.216	4.442	4.544	4.562	4.358
8	28	32.000	-7.151	-7.162	-7.091	-7.475	-7.354	-6.543
6	28	32.000	-6.980	-5.487	-3.963	-4.938	-4.357	-2.231

Dari Bus	Ke Bus	Kapasitas Saluran (kw)	Jam					
			13	14	15	16	17	18
1	2	130.000	41.213	38.561	42.742	47.132	51.526	56.620
1	3	130.000	17.563	18.582	24.401	30.012	35.617	40.524
2	4	65.000	8.522	10.809	17.213	23.259	29.298	34.111
3	4	130.000	14.614	15.515	21.365	26.992	32.624	37.416
2	5	130.000	11.702	13.097	15.557	18.172	20.804	23.822
2	6	65.000	13.550	16.154	21.753	27.634	33.595	39.815
4	6	90.000	24.755	26.755	24.733	25.502	26.659	34.197
5	7	70.000	11.702	13.097	15.557	18.172	20.804	23.822
6	7	130.000	16.319	16.042	13.285	10.511	7.628	5.704
6	8	65.000	30.308	32.524	31.737	31.205	30.536	31.626
6	9	65.000	-4.233	-5.061	0.645	7.890	15.683	25.249
6	10	32.000	-2.419	-2.892	0.369	4.509	8.962	14.428
9	11	65.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	10	65.000	-4.233	-5.061	0.645	7.890	15.683	25.249
4	12	65.000	-13.960	-13.144	1.231	12.188	22.786	33.488
12	13	65.000	-61.920	-64.024	-39.364	-25.440	-10.558	-1.440
12	14	32.000	7.628	8.401	7.084	6.672	5.842	5.864
12	15	32.000	15.267	17.535	12.999	11.610	8.777	8.397
12	16	32.000	11.301	10.630	6.345	5.256	4.759	6.164
14	15	16.000	0.008	0.477	-0.759	-1.127	-1.889	-2.165
16	17	16.000	6.999	6.157	1.917	0.853	0.395	1.631
15	18	16.000	10.682	9.929	7.611	7.055	7.220	8.557
18	19	16.000	6.749	5.839	3.563	3.029	3.230	4.413
19	20	32.000	-4.926	-6.302	-8.454	-8.922	-8.617	-7.889
10	20	32.000	7.630	9.113	11.237	11.689	11.360	10.738
10	17	32.000	4.062	5.345	9.468	10.469	10.828	10.024
10	21	32.000	-14.128	-16.776	-15.048	-8.825	-1.166	9.016
10	22	32.000	-11.344	-13.048	-11.980	-8.230	-3.610	2.388
21	22	65.000	-35.636	-39.141	-37.185	-30.840	-22.989	-13.646
15	23	16.000	-5.485	-2.396	-5.745	-6.888	-10.558	-12.945
22	24	16.000	4.620	10.211	8.434	4.130	-2.599	-10.058
23	24	16.000	5.582	3.514	0.207	-0.914	0.452	2.911
24	25	32.000	-0.490	2.607	-2.364	-7.729	-12.996	-18.413
25	26	16.000	4.302	4.473	4.428	4.403	4.365	4.533
25	27	32.000	-4.792	-1.866	-6.791	-12.132	-17.360	-22.946
28	27	65.000	-8.231	-3.520	-5.764	-7.514	-9.429	-10.219
27	29	16.000	7.424	7.720	7.642	7.599	7.533	7.823
27	30	16.000	8.553	8.894	8.803	8.755	8.678	9.012
29	30	16.000	4.475	4.653	4.606	4.580	4.540	4.715
8	28	32.000	-6.562	-5.816	-6.213	-6.535	-6.874	-7.224
6	28	32.000	-1.669	2.296	0.449	-0.979	-2.555	-2.995

Dari Bus	Ke Bus	Kapasitas Saluran (kw)	Jam					
			19	20	21	20	23	24
1	2	130.000	56.861	56.784	58.567	59.799	61.387	63.006
1	3	130.000	43.139	43.216	41.433	40.201	38.613	36.994
2	4	65.000	37.535	37.675	34.656	32.604	29.929	27.195
3	4	130.000	39.902	40.021	38.330	37.309	35.865	34.366
2	5	130.000	25.744	25.557	24.080	22.311	20.746	19.173
2	6	65.000	43.539	43.305	40.408	37.370	34.500	31.511
4	6	90.000	36.402	34.752	34.548	29.598	28.053	26.222
5	7	70.000	25.744	25.557	24.080	22.311	20.746	19.173
6	7	130.000	5.013	4.790	5.401	5.163	5.360	5.793
6	8	65.000	33.295	32.758	31.619	29.074	27.452	25.886
6	9	65.000	27.589	27.093	25.940	23.504	21.911	20.369
6	10	32.000	15.765	15.482	14.823	13.431	12.521	11.639
9	11	65.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	10	65.000	27.589	27.093	25.940	23.504	21.911	20.369
4	12	65.000	36.782	36.019	34.611	31.158	29.040	27.018
12	13	65.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	14	32.000	6.220	6.084	5.823	5.200	4.812	4.443
12	15	32.000	9.141	8.833	8.271	6.907	6.106	5.278
12	16	32.000	6.314	6.194	6.036	5.554	5.297	5.033
14	15	16.000	-2.144	-2.168	-2.194	-2.271	-2.287	-2.346
16	17	16.000	1.592	1.536	1.510	1.337	1.290	1.201
15	18	16.000	8.753	8.648	8.479	8.015	7.725	7.479
18	19	16.000	4.436	4.389	4.342	4.159	4.061	3.975
19	20	32.000	-8.379	-8.255	-7.942	-7.289	-6.817	-6.428
10	20	32.000	11.347	11.184	10.787	9.940	9.336	8.837
10	17	32.000	10.549	10.443	10.127	9.508	9.015	8.654
10	21	32.000	10.489	10.209	9.605	8.319	7.570	6.701
10	22	32.000	3.146	3.020	2.746	2.180	1.870	1.465
21	22	65.000	-13.119	-13.084	-13.023	-12.769	-12.468	-12.462
15	23	16.000	-12.819	-12.897	-13.005	-13.259	-13.294	-13.526
22	24	16.000	-9.973	-10.064	-10.277	-10.589	-10.598	-10.996
23	24	16.000	2.865	2.843	2.858	2.885	3.042	2.970
24	25	32.000	-18.844	-18.800	-18.668	-18.187	-17.518	-17.553
25	26	16.000	4.722	4.659	4.526	4.218	4.008	3.833
25	27	32.000	-23.566	-23.459	-23.194	-22.405	-21.525	-21.385
28	27	65.000	-8.897	-9.238	-9.997	-11.281	-11.588	-12.918
27	29	16.000	8.149	8.040	7.811	7.279	6.917	6.615
27	30	16.000	9.388	9.263	8.998	8.386	7.968	7.620
29	30	16.000	4.911	4.846	4.708	4.387	4.169	3.987
8	28	32.000	-7.175	-7.172	-7.171	-7.076	-6.898	-6.964
6	28	32.000	-1.722	-2.066	-2.826	-4.204	-4.691	-5.955

**Tabel 16. Sudut Tegangan Kasus 1a**

Bus	Jam							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004
3	-0.006	-0.007	-0.006	-0.006	-0.007	-0.007	-0.007	-0.007
4	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	-0.009
5	-0.007	-0.007	-0.007	-0.007	-0.007	-0.008	-0.008	-0.008
6	-0.009	-0.009	-0.009	-0.009	-0.009	-0.009	-0.010	-0.010
7	-0.009	-0.009	-0.009	-0.009	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010
8	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.011	-0.011
9	-0.012	-0.013	-0.012	-0.012	-0.013	-0.014	-0.014	-0.015
10	-0.014	-0.014	-0.014	-0.014	-0.015	-0.016	-0.016	-0.017
11	-0.012	-0.013	-0.012	-0.012	-0.013	-0.014	-0.014	-0.015
12	-0.014	-0.014	-0.014	-0.014	-0.015	-0.015	-0.015	-0.016
13	-0.014	-0.014	-0.014	-0.014	-0.015	-0.015	-0.015	-0.016
14	-0.015	-0.015	-0.015	-0.015	-0.016	-0.017	-0.017	-0.018
15	-0.014	-0.015	-0.014	-0.014	-0.015	-0.016	-0.016	-0.017
16	-0.015	-0.015	-0.015	-0.015	-0.016	-0.016	-0.016	-0.017
17	-0.015	-0.015	-0.015	-0.015	-0.016	-0.017	-0.017	-0.018
18	-0.016	-0.016	-0.016	-0.016	-0.017	-0.018	-0.018	-0.019
19	-0.016	-0.017	-0.016	-0.016	-0.017	-0.018	-0.018	-0.019
20	-0.016	-0.016	-0.016	-0.016	-0.017	-0.018	-0.018	-0.019
21	-0.015	-0.015	-0.015	-0.015	-0.016	-0.016	-0.017	-0.017
22	-0.014	-0.015	-0.014	-0.014	-0.015	-0.016	-0.016	-0.017
23	-0.011	-0.012	-0.011	-0.012	-0.013	-0.013	-0.013	-0.014
24	-0.012	-0.012	-0.012	-0.012	-0.013	-0.014	-0.014	-0.015
25	-0.006	-0.007	-0.006	-0.007	-0.007	-0.008	-0.009	-0.009
26	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	-0.009	-0.010	-0.010	-0.011
27	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.003	-0.004	-0.005	-0.005
28	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	-0.009	-0.009	-0.009	-0.010
29	-0.004	-0.005	-0.004	-0.005	-0.006	-0.006	-0.007	-0.007
30	-0.006	-0.006	-0.006	-0.007	-0.007	-0.008	-0.009	-0.009

Bus	Jam							
	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.002	-0.002	-0.003	-0.003
3	-0.006	-0.005	-0.004	-0.003	-0.003	-0.004	-0.005	-0.006
4	-0.007	-0.006	-0.005	-0.004	-0.004	-0.004	-0.006	-0.007
5	-0.007	-0.007	-0.006	-0.005	-0.005	-0.005	-0.006	-0.007
6	-0.009	-0.008	-0.006	-0.005	-0.005	-0.006	-0.007	-0.008
7	-0.009	-0.009	-0.007	-0.006	-0.006	-0.007	-0.008	-0.009
8	-0.010	-0.009	-0.007	-0.006	-0.006	-0.007	-0.008	-0.009
9	-0.011	-0.009	-0.007	-0.004	-0.004	-0.005	-0.008	-0.011
10	-0.013	-0.010	-0.007	-0.004	-0.003	-0.005	-0.008	-0.012
11	-0.011	-0.009	-0.007	-0.004	-0.004	-0.005	-0.008	-0.011
12	-0.011	-0.009	-0.005	-0.001	0.000	-0.002	-0.006	-0.010
13	-0.008	-0.004	0.002	0.007	0.009	0.006	0.000	-0.006
14	-0.013	-0.010	-0.006	-0.003	-0.002	-0.004	-0.008	-0.012
15	-0.013	-0.010	-0.006	-0.003	-0.002	-0.004	-0.008	-0.012
16	-0.013	-0.010	-0.006	-0.003	-0.002	-0.004	-0.008	-0.012
17	-0.014	-0.011	-0.007	-0.004	-0.004	-0.005	-0.009	-0.013
18	-0.015	-0.012	-0.008	-0.005	-0.004	-0.006	-0.010	-0.014
19	-0.015	-0.013	-0.009	-0.006	-0.005	-0.007	-0.011	-0.015
20	-0.015	-0.012	-0.009	-0.006	-0.005	-0.007	-0.010	-0.014
21	-0.013	-0.010	-0.006	-0.003	-0.002	-0.004	-0.008	-0.012
22	-0.013	-0.010	-0.005	-0.002	-0.002	-0.003	-0.007	-0.011
23	-0.010	-0.008	-0.005	-0.003	-0.001	-0.004	-0.007	-0.011
24	-0.012	-0.009	-0.006	-0.003	-0.002	-0.005	-0.008	-0.011
25	-0.007	-0.005	-0.003	-0.002	-0.002	-0.005	-0.007	-0.008
26	-0.009	-0.006	-0.005	-0.004	-0.004	-0.007	-0.008	-0.010
27	-0.004	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.005	-0.005	-0.006
28	-0.008	-0.007	-0.006	-0.005	-0.005	-0.006	-0.007	-0.008
29	-0.007	-0.005	-0.004	-0.004	-0.004	-0.008	-0.008	-0.009
30	-0.009	-0.007	-0.006	-0.006	-0.006	-0.010	-0.010	-0.011



Bus	Jam							
	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.004	-0.004	-0.004
3	-0.007	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	-0.007
4	-0.008	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.009	-0.009	-0.009
5	-0.008	-0.008	-0.009	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008
6	-0.010	-0.011	-0.011	-0.011	-0.011	-0.011	-0.010	-0.010
7	-0.010	-0.011	-0.012	-0.011	-0.011	-0.011	-0.011	-0.010
8	-0.011	-0.012	-0.013	-0.012	-0.012	-0.012	-0.011	-0.011
9	-0.014	-0.016	-0.017	-0.017	-0.016	-0.016	-0.015	-0.014
10	-0.016	-0.019	-0.020	-0.019	-0.019	-0.018	-0.017	-0.017
11	-0.014	-0.016	-0.017	-0.017	-0.016	-0.016	-0.015	-0.014
12	-0.014	-0.018	-0.019	-0.019	-0.019	-0.018	-0.017	-0.016
13	-0.012	-0.018	-0.019	-0.019	-0.019	-0.018	-0.017	-0.016
14	-0.016	-0.020	-0.021	-0.020	-0.020	-0.019	-0.018	-0.017
15	-0.016	-0.019	-0.020	-0.020	-0.020	-0.019	-0.018	-0.017
16	-0.016	-0.019	-0.020	-0.020	-0.020	-0.019	-0.018	-0.017
17	-0.016	-0.020	-0.021	-0.020	-0.020	-0.019	-0.018	-0.017
18	-0.018	-0.021	-0.022	-0.022	-0.022	-0.020	-0.019	-0.018
19	-0.018	-0.022	-0.023	-0.022	-0.022	-0.021	-0.020	-0.019
20	-0.018	-0.021	-0.022	-0.022	-0.022	-0.020	-0.019	-0.018
21	-0.016	-0.019	-0.021	-0.020	-0.020	-0.019	-0.018	-0.017
22	-0.016	-0.019	-0.020	-0.020	-0.020	-0.019	-0.018	-0.017
23	-0.014	-0.017	-0.018	-0.017	-0.017	-0.016	-0.015	-0.014
24	-0.015	-0.017	-0.018	-0.018	-0.018	-0.017	-0.016	-0.015
25	-0.010	-0.011	-0.012	-0.012	-0.012	-0.012	-0.011	-0.010
26	-0.012	-0.013	-0.014	-0.014	-0.013	-0.013	-0.013	-0.011
27	-0.006	-0.006	-0.007	-0.007	-0.007	-0.008	-0.007	-0.006
28	-0.009	-0.011	-0.011	-0.011	-0.011	-0.011	-0.010	-0.010
29	-0.009	-0.010	-0.011	-0.010	-0.010	-0.011	-0.010	-0.009
30	-0.011	-0.012	-0.013	-0.012	-0.012	-0.013	-0.012	-0.011

**Tabel 17. Sudut Tegangan Kasus 1b**

Bus	Jam							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	-0.039	-0.039	-0.039	-0.039	-0.039	-0.039	-0.038	-0.038
3	-0.066	-0.067	-0.066	-0.066	-0.067	-0.068	-0.068	-0.071
4	-0.078	-0.080	-0.078	-0.079	-0.080	-0.081	-0.082	-0.085
5	-0.072	-0.073	-0.072	-0.072	-0.074	-0.075	-0.075	-0.078
6	-0.087	-0.089	-0.087	-0.087	-0.091	-0.092	-0.092	-0.097
7	-0.092	-0.094	-0.092	-0.092	-0.096	-0.097	-0.097	-0.102
8	-0.096	-0.098	-0.096	-0.096	-0.100	-0.102	-0.102	-0.108
9	-0.124	-0.126	-0.124	-0.124	-0.131	-0.135	-0.134	-0.143
10	-0.143	-0.146	-0.143	-0.143	-0.152	-0.157	-0.155	-0.167
11	-0.124	-0.126	-0.124	-0.124	-0.131	-0.135	-0.134	-0.143
12	-0.138	-0.142	-0.138	-0.139	-0.147	-0.151	-0.150	-0.161
13	-0.138	-0.142	-0.138	-0.139	-0.147	-0.151	-0.150	-0.161
14	-0.148	-0.152	-0.148	-0.149	-0.158	-0.163	-0.161	-0.174
15	-0.143	-0.147	-0.143	-0.144	-0.153	-0.158	-0.157	-0.169
16	-0.147	-0.151	-0.147	-0.148	-0.157	-0.162	-0.160	-0.172
17	-0.149	-0.153	-0.149	-0.150	-0.159	-0.164	-0.162	-0.174
18	-0.158	-0.162	-0.158	-0.159	-0.169	-0.175	-0.173	-0.186
19	-0.163	-0.167	-0.163	-0.164	-0.174	-0.180	-0.178	-0.192
20	-0.159	-0.163	-0.159	-0.160	-0.170	-0.176	-0.174	-0.187
21	-0.146	-0.150	-0.146	-0.147	-0.156	-0.162	-0.160	-0.172
22	-0.144	-0.147	-0.144	-0.144	-0.154	-0.159	-0.157	-0.170
23	-0.115	-0.119	-0.115	-0.116	-0.125	-0.131	-0.129	-0.142
24	-0.122	-0.126	-0.122	-0.123	-0.133	-0.139	-0.137	-0.150
25	-0.064	-0.067	-0.064	-0.064	-0.074	-0.079	-0.077	-0.090
26	-0.077	-0.081	-0.077	-0.078	-0.088	-0.094	-0.092	-0.105
27	-0.019	-0.022	-0.019	-0.019	-0.028	-0.033	-0.031	-0.043
28	-0.082	-0.084	-0.082	-0.082	-0.086	-0.088	-0.088	-0.093
29	-0.044	-0.048	-0.044	-0.045	-0.055	-0.061	-0.059	-0.072
30	-0.061	-0.065	-0.061	-0.061	-0.073	-0.079	-0.076	-0.091

Bus	Jam							
	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	-0.038	-0.036	-0.033	-0.029	-0.027	-0.025	-0.027	-0.030
3	-0.065	-0.054	-0.044	-0.037	-0.035	-0.036	-0.047	-0.057
4	-0.078	-0.064	-0.052	-0.043	-0.041	-0.042	-0.055	-0.068
5	-0.075	-0.067	-0.059	-0.052	-0.050	-0.050	-0.058	-0.066
6	-0.089	-0.076	-0.061	-0.052	-0.051	-0.053	-0.065	-0.078
7	-0.097	-0.086	-0.074	-0.065	-0.064	-0.065	-0.076	-0.087
8	-0.101	-0.088	-0.074	-0.064	-0.063	-0.065	-0.078	-0.091
9	-0.117	-0.096	-0.058	-0.043	-0.042	-0.042	-0.066	-0.094
10	-0.132	-0.107	-0.056	-0.038	-0.037	-0.036	-0.066	-0.102
11	-0.117	-0.096	-0.058	-0.043	-0.042	-0.042	-0.066	-0.094
12	-0.116	-0.087	-0.043	-0.016	-0.005	-0.009	-0.055	-0.097
13	-0.086	-0.045	0.016	0.060	0.082	0.078	0.002	-0.059
14	-0.132	-0.104	-0.060	-0.035	-0.025	-0.030	-0.074	-0.114
15	-0.128	-0.101	-0.058	-0.035	-0.025	-0.031	-0.073	-0.112
16	-0.132	-0.104	-0.057	-0.034	-0.027	-0.029	-0.069	-0.108
17	-0.138	-0.112	-0.063	-0.043	-0.041	-0.040	-0.073	-0.110
18	-0.148	-0.122	-0.076	-0.055	-0.048	-0.052	-0.090	-0.128
19	-0.155	-0.130	-0.082	-0.061	-0.057	-0.059	-0.095	-0.133
20	-0.151	-0.125	-0.077	-0.057	-0.053	-0.055	-0.089	-0.126
21	-0.132	-0.105	-0.044	-0.026	-0.028	-0.024	-0.055	-0.096
22	-0.128	-0.100	-0.037	-0.019	-0.020	-0.016	-0.048	-0.090
23	-0.105	-0.078	-0.040	-0.027	-0.014	-0.025	-0.062	-0.099
24	-0.117	-0.091	-0.045	-0.032	-0.029	-0.034	-0.063	-0.097
25	-0.077	-0.055	-0.030	-0.027	-0.027	-0.043	-0.056	-0.072
26	-0.093	-0.072	-0.047	-0.043	-0.043	-0.059	-0.072	-0.089
27	-0.042	-0.024	-0.012	-0.016	-0.017	-0.039	-0.042	-0.047
28	-0.087	-0.073	-0.059	-0.051	-0.050	-0.054	-0.065	-0.078
29	-0.073	-0.055	-0.044	-0.046	-0.048	-0.071	-0.074	-0.079
30	-0.093	-0.076	-0.064	-0.066	-0.068	-0.091	-0.094	-0.100

Bus	Jam							
	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	-0.033	-0.036	-0.035	-0.035	-0.035	-0.036	-0.037	-0.038
3	-0.068	-0.077	-0.080	-0.079	-0.079	-0.076	-0.073	-0.070
4	-0.081	-0.092	-0.096	-0.094	-0.094	-0.091	-0.088	-0.084
5	-0.074	-0.082	-0.084	-0.083	-0.083	-0.081	-0.078	-0.076
6	-0.092	-0.106	-0.110	-0.108	-0.108	-0.103	-0.099	-0.095
7	-0.098	-0.111	-0.114	-0.113	-0.112	-0.107	-0.103	-0.099
8	-0.104	-0.118	-0.123	-0.121	-0.121	-0.115	-0.110	-0.105
9	-0.124	-0.158	-0.166	-0.163	-0.162	-0.153	-0.145	-0.137
10	-0.141	-0.186	-0.196	-0.192	-0.191	-0.178	-0.169	-0.160
11	-0.124	-0.158	-0.166	-0.163	-0.162	-0.153	-0.145	-0.137
12	-0.137	-0.178	-0.189	-0.185	-0.184	-0.172	-0.163	-0.154
13	-0.120	-0.176	-0.189	-0.185	-0.184	-0.172	-0.163	-0.154
14	-0.153	-0.193	-0.204	-0.200	-0.199	-0.186	-0.176	-0.166
15	-0.149	-0.189	-0.200	-0.196	-0.195	-0.181	-0.171	-0.161
16	-0.148	-0.191	-0.201	-0.197	-0.196	-0.183	-0.174	-0.164
17	-0.149	-0.194	-0.204	-0.200	-0.199	-0.186	-0.176	-0.167
18	-0.165	-0.208	-0.219	-0.214	-0.213	-0.199	-0.188	-0.178
19	-0.170	-0.214	-0.225	-0.220	-0.219	-0.204	-0.193	-0.183
20	-0.164	-0.208	-0.219	-0.214	-0.214	-0.199	-0.189	-0.178
21	-0.140	-0.192	-0.203	-0.198	-0.198	-0.184	-0.174	-0.165
22	-0.135	-0.189	-0.200	-0.196	-0.195	-0.182	-0.172	-0.162
23	-0.128	-0.163	-0.174	-0.170	-0.169	-0.155	-0.144	-0.134
24	-0.130	-0.171	-0.182	-0.177	-0.177	-0.163	-0.152	-0.142
25	-0.088	-0.110	-0.120	-0.116	-0.115	-0.103	-0.094	-0.085
26	-0.104	-0.128	-0.138	-0.133	-0.132	-0.119	-0.110	-0.099
27	-0.052	-0.062	-0.071	-0.067	-0.066	-0.056	-0.049	-0.040
28	-0.090	-0.104	-0.109	-0.107	-0.106	-0.101	-0.096	-0.091
29	-0.083	-0.095	-0.105	-0.100	-0.099	-0.086	-0.078	-0.068
30	-0.104	-0.116	-0.126	-0.121	-0.120	-0.106	-0.097	-0.086

**Tabel 18. Sudut Tegangan Kasus 2a**

Bus	Jam							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	-0.039	-0.039	-0.039	-0.039	-0.039	-0.039	-0.038	-0.038
3	-0.066	-0.067	-0.066	-0.066	-0.067	-0.068	-0.068	-0.071
4	-0.078	-0.080	-0.078	-0.079	-0.080	-0.081	-0.082	-0.085
5	-0.072	-0.073	-0.072	-0.072	-0.074	-0.075	-0.075	-0.078
6	-0.087	-0.089	-0.087	-0.087	-0.091	-0.092	-0.092	-0.097
7	-0.092	-0.094	-0.092	-0.092	-0.096	-0.097	-0.097	-0.102
8	-0.096	-0.098	-0.096	-0.096	-0.100	-0.102	-0.102	-0.108
9	-0.124	-0.126	-0.124	-0.124	-0.131	-0.135	-0.134	-0.143
10	-0.143	-0.146	-0.143	-0.143	-0.152	-0.157	-0.155	-0.167
11	-0.124	-0.126	-0.124	-0.124	-0.131	-0.135	-0.134	-0.143
12	-0.138	-0.142	-0.138	-0.139	-0.147	-0.151	-0.150	-0.161
13	-0.138	-0.142	-0.138	-0.139	-0.147	-0.151	-0.150	-0.161
14	-0.148	-0.152	-0.148	-0.149	-0.158	-0.163	-0.161	-0.174
15	-0.143	-0.147	-0.143	-0.144	-0.153	-0.158	-0.157	-0.169
16	-0.147	-0.151	-0.147	-0.148	-0.157	-0.162	-0.160	-0.172
17	-0.149	-0.153	-0.149	-0.150	-0.159	-0.164	-0.162	-0.174
18	-0.158	-0.162	-0.158	-0.159	-0.169	-0.175	-0.173	-0.186
19	-0.163	-0.167	-0.163	-0.164	-0.174	-0.180	-0.178	-0.192
20	-0.159	-0.163	-0.159	-0.160	-0.170	-0.176	-0.174	-0.187
21	-0.146	-0.150	-0.146	-0.147	-0.156	-0.162	-0.160	-0.172
22	-0.144	-0.147	-0.144	-0.144	-0.154	-0.159	-0.157	-0.170
23	-0.115	-0.119	-0.115	-0.116	-0.125	-0.131	-0.129	-0.142
24	-0.122	-0.126	-0.122	-0.123	-0.133	-0.139	-0.137	-0.150
25	-0.064	-0.067	-0.064	-0.064	-0.074	-0.079	-0.077	-0.090
26	-0.077	-0.081	-0.077	-0.078	-0.088	-0.094	-0.092	-0.105
27	-0.019	-0.022	-0.019	-0.019	-0.028	-0.033	-0.031	-0.043
28	-0.082	-0.084	-0.082	-0.082	-0.086	-0.088	-0.088	-0.093
29	-0.044	-0.048	-0.044	-0.045	-0.055	-0.061	-0.059	-0.072
30	-0.061	-0.065	-0.061	-0.061	-0.073	-0.079	-0.076	-0.091

Bus	Jam							
	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	-0.038	-0.036	-0.033	-0.029	-0.025	-0.023	-0.026	-0.028
3	-0.065	-0.054	-0.044	-0.037	-0.033	-0.035	-0.046	-0.057
4	-0.078	-0.064	-0.052	-0.043	-0.039	-0.042	-0.055	-0.068
5	-0.075	-0.067	-0.059	-0.052	-0.048	-0.049	-0.057	-0.065
6	-0.089	-0.076	-0.061	-0.052	-0.049	-0.052	-0.065	-0.078
7	-0.097	-0.086	-0.074	-0.065	-0.062	-0.065	-0.075	-0.086
8	-0.101	-0.088	-0.074	-0.064	-0.061	-0.065	-0.077	-0.091
9	-0.117	-0.096	-0.058	-0.043	-0.040	-0.042	-0.066	-0.095
10	-0.132	-0.107	-0.056	-0.038	-0.036	-0.036	-0.067	-0.103
11	-0.117	-0.096	-0.058	-0.043	-0.040	-0.042	-0.066	-0.095
12	-0.116	-0.087	-0.043	-0.016	-0.003	-0.007	-0.058	-0.100
13	-0.086	-0.045	0.016	0.060	0.084	0.082	-0.003	-0.064
14	-0.132	-0.104	-0.060	-0.035	-0.023	-0.029	-0.077	-0.117
15	-0.128	-0.101	-0.058	-0.035	-0.023	-0.030	-0.075	-0.115
16	-0.132	-0.104	-0.057	-0.034	-0.026	-0.029	-0.071	-0.110
17	-0.138	-0.112	-0.063	-0.043	-0.039	-0.040	-0.074	-0.112
18	-0.148	-0.122	-0.076	-0.055	-0.046	-0.052	-0.092	-0.130
19	-0.155	-0.130	-0.082	-0.061	-0.055	-0.060	-0.096	-0.134
20	-0.151	-0.125	-0.077	-0.057	-0.052	-0.055	-0.090	-0.128
21	-0.132	-0.105	-0.044	-0.026	-0.026	-0.024	-0.056	-0.097
22	-0.128	-0.100	-0.037	-0.019	-0.019	-0.016	-0.049	-0.091
23	-0.105	-0.078	-0.040	-0.027	-0.012	-0.025	-0.064	-0.101
24	-0.117	-0.091	-0.045	-0.032	-0.027	-0.035	-0.064	-0.098
25	-0.077	-0.056	-0.030	-0.027	-0.025	-0.043	-0.056	-0.073
26	-0.093	-0.072	-0.047	-0.043	-0.042	-0.060	-0.073	-0.090
27	-0.042	-0.024	-0.012	-0.016	-0.015	-0.040	-0.042	-0.047
28	-0.087	-0.073	-0.059	-0.051	-0.048	-0.054	-0.065	-0.077
29	-0.073	-0.055	-0.044	-0.046	-0.046	-0.072	-0.074	-0.079
30	-0.093	-0.076	-0.064	-0.066	-0.067	-0.093	-0.095	-0.100

Bus	Jam							
	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	-0.031	-0.034	-0.034	-0.034	-0.035	-0.036	-0.037	-0.038
3	-0.068	-0.077	-0.082	-0.081	-0.079	-0.076	-0.073	-0.070
4	-0.081	-0.092	-0.098	-0.097	-0.094	-0.091	-0.088	-0.084
5	-0.073	-0.082	-0.086	-0.085	-0.083	-0.081	-0.078	-0.076
6	-0.091	-0.106	-0.112	-0.111	-0.108	-0.103	-0.099	-0.095
7	-0.097	-0.110	-0.116	-0.115	-0.112	-0.107	-0.103	-0.099
8	-0.104	-0.118	-0.126	-0.124	-0.121	-0.115	-0.110	-0.105
9	-0.124	-0.159	-0.170	-0.168	-0.162	-0.153	-0.145	-0.137
10	-0.142	-0.186	-0.201	-0.198	-0.191	-0.178	-0.169	-0.160
11	-0.124	-0.159	-0.170	-0.168	-0.162	-0.153	-0.145	-0.137
12	-0.140	-0.179	-0.194	-0.191	-0.184	-0.172	-0.163	-0.154
13	-0.125	-0.177	-0.194	-0.191	-0.184	-0.172	-0.163	-0.154
14	-0.155	-0.194	-0.210	-0.206	-0.199	-0.186	-0.176	-0.166
15	-0.151	-0.190	-0.205	-0.202	-0.195	-0.181	-0.171	-0.161
16	-0.149	-0.191	-0.206	-0.203	-0.196	-0.183	-0.174	-0.164
17	-0.150	-0.194	-0.209	-0.206	-0.199	-0.186	-0.176	-0.167
18	-0.167	-0.209	-0.225	-0.221	-0.213	-0.199	-0.188	-0.178
19	-0.171	-0.215	-0.230	-0.227	-0.219	-0.204	-0.193	-0.183
20	-0.165	-0.209	-0.225	-0.221	-0.214	-0.199	-0.189	-0.178
21	-0.141	-0.193	-0.208	-0.205	-0.198	-0.184	-0.174	-0.165
22	-0.136	-0.190	-0.205	-0.202	-0.195	-0.182	-0.172	-0.162
23	-0.130	-0.164	-0.180	-0.176	-0.169	-0.155	-0.144	-0.134
24	-0.131	-0.172	-0.188	-0.184	-0.177	-0.163	-0.152	-0.142
25	-0.089	-0.111	-0.125	-0.122	-0.115	-0.103	-0.094	-0.085
26	-0.105	-0.128	-0.143	-0.140	-0.132	-0.119	-0.110	-0.099
27	-0.052	-0.063	-0.076	-0.073	-0.066	-0.056	-0.049	-0.040
28	-0.090	-0.104	-0.111	-0.110	-0.106	-0.101	-0.096	-0.091
29	-0.084	-0.096	-0.110	-0.107	-0.099	-0.086	-0.078	-0.068
30	-0.104	-0.117	-0.132	-0.128	-0.120	-0.106	-0.097	-0.086

**Tabel 19. Sudut Tegangan Kasus 2b**

Bus	Jam							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	-0.039	-0.039	-0.039	-0.039	-0.039	-0.039	-0.038	-0.038
3	-0.066	-0.067	-0.066	-0.066	-0.067	-0.068	-0.068	-0.071
4	-0.078	-0.080	-0.078	-0.079	-0.080	-0.081	-0.082	-0.085
5	-0.072	-0.073	-0.072	-0.072	-0.074	-0.075	-0.075	-0.078
6	-0.087	-0.089	-0.087	-0.087	-0.091	-0.092	-0.092	-0.097
7	-0.092	-0.094	-0.092	-0.092	-0.096	-0.097	-0.097	-0.102
8	-0.096	-0.098	-0.096	-0.096	-0.100	-0.102	-0.102	-0.108
9	-0.124	-0.126	-0.124	-0.124	-0.131	-0.135	-0.134	-0.143
10	-0.143	-0.146	-0.143	-0.143	-0.152	-0.157	-0.155	-0.167
11	-0.124	-0.126	-0.124	-0.124	-0.131	-0.135	-0.134	-0.143
12	-0.138	-0.142	-0.138	-0.139	-0.147	-0.151	-0.150	-0.161
13	-0.138	-0.142	-0.138	-0.139	-0.147	-0.151	-0.150	-0.161
14	-0.148	-0.152	-0.148	-0.149	-0.158	-0.163	-0.161	-0.174
15	-0.143	-0.147	-0.143	-0.144	-0.153	-0.158	-0.157	-0.169
16	-0.147	-0.151	-0.147	-0.148	-0.157	-0.162	-0.160	-0.172
17	-0.149	-0.153	-0.149	-0.150	-0.159	-0.164	-0.162	-0.174
18	-0.158	-0.162	-0.158	-0.159	-0.169	-0.175	-0.173	-0.186
19	-0.163	-0.167	-0.163	-0.164	-0.174	-0.180	-0.178	-0.192
20	-0.159	-0.163	-0.159	-0.160	-0.170	-0.176	-0.174	-0.187
21	-0.146	-0.150	-0.146	-0.147	-0.156	-0.162	-0.160	-0.172
22	-0.144	-0.147	-0.144	-0.144	-0.154	-0.159	-0.157	-0.170
23	-0.115	-0.119	-0.115	-0.116	-0.125	-0.131	-0.129	-0.142
24	-0.122	-0.126	-0.122	-0.123	-0.133	-0.139	-0.137	-0.150
25	-0.064	-0.067	-0.064	-0.064	-0.074	-0.079	-0.077	-0.090
26	-0.077	-0.081	-0.077	-0.078	-0.088	-0.094	-0.092	-0.105
27	-0.019	-0.022	-0.019	-0.019	-0.028	-0.033	-0.031	-0.043
28	-0.082	-0.084	-0.082	-0.082	-0.086	-0.088	-0.088	-0.093
29	-0.044	-0.048	-0.044	-0.045	-0.055	-0.061	-0.059	-0.072
30	-0.061	-0.065	-0.061	-0.061	-0.073	-0.079	-0.076	-0.091



Bus	Jam							
	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	-0.038	-0.036	-0.033	-0.029	-0.025	-0.023	-0.026	-0.028
3	-0.065	-0.054	-0.044	-0.037	-0.033	-0.035	-0.046	-0.057
4	-0.078	-0.064	-0.052	-0.043	-0.039	-0.042	-0.055	-0.068
5	-0.075	-0.067	-0.059	-0.052	-0.048	-0.049	-0.057	-0.065
6	-0.089	-0.076	-0.061	-0.052	-0.049	-0.052	-0.065	-0.078
7	-0.097	-0.086	-0.074	-0.065	-0.062	-0.065	-0.075	-0.086
8	-0.101	-0.088	-0.074	-0.064	-0.061	-0.065	-0.077	-0.091
9	-0.117	-0.096	-0.058	-0.043	-0.040	-0.042	-0.066	-0.095
10	-0.132	-0.107	-0.056	-0.038	-0.036	-0.036	-0.067	-0.103
11	-0.117	-0.096	-0.058	-0.043	-0.040	-0.042	-0.066	-0.095
12	-0.116	-0.087	-0.043	-0.016	-0.003	-0.007	-0.058	-0.100
13	-0.086	-0.045	0.016	0.060	0.084	0.082	-0.003	-0.064
14	-0.132	-0.104	-0.060	-0.035	-0.023	-0.029	-0.077	-0.117
15	-0.128	-0.101	-0.058	-0.035	-0.023	-0.030	-0.075	-0.115
16	-0.132	-0.104	-0.057	-0.034	-0.026	-0.029	-0.071	-0.110
17	-0.138	-0.112	-0.063	-0.043	-0.039	-0.040	-0.074	-0.112
18	-0.148	-0.122	-0.076	-0.055	-0.046	-0.052	-0.092	-0.130
19	-0.155	-0.130	-0.082	-0.061	-0.055	-0.060	-0.096	-0.134
20	-0.151	-0.125	-0.077	-0.057	-0.052	-0.055	-0.090	-0.128
21	-0.132	-0.105	-0.044	-0.026	-0.026	-0.024	-0.056	-0.097
22	-0.128	-0.100	-0.037	-0.019	-0.019	-0.016	-0.049	-0.091
23	-0.105	-0.078	-0.040	-0.027	-0.012	-0.025	-0.064	-0.101
24	-0.117	-0.091	-0.045	-0.032	-0.027	-0.035	-0.064	-0.098
25	-0.077	-0.056	-0.030	-0.027	-0.025	-0.043	-0.056	-0.073
26	-0.093	-0.072	-0.047	-0.043	-0.042	-0.060	-0.073	-0.090
27	-0.042	-0.024	-0.012	-0.016	-0.015	-0.040	-0.042	-0.047
28	-0.087	-0.073	-0.059	-0.051	-0.048	-0.054	-0.065	-0.077
29	-0.073	-0.055	-0.044	-0.046	-0.046	-0.072	-0.074	-0.079
30	-0.093	-0.076	-0.064	-0.066	-0.067	-0.093	-0.095	-0.100

Bus	Jam							
	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	-0.031	-0.034	-0.034	-0.034	-0.035	-0.036	-0.037	-0.038
3	-0.068	-0.077	-0.082	-0.081	-0.079	-0.076	-0.073	-0.070
4	-0.081	-0.092	-0.098	-0.097	-0.094	-0.091	-0.088	-0.084
5	-0.073	-0.082	-0.086	-0.085	-0.083	-0.081	-0.078	-0.076
6	-0.091	-0.106	-0.112	-0.111	-0.108	-0.103	-0.099	-0.095
7	-0.097	-0.110	-0.116	-0.115	-0.112	-0.107	-0.103	-0.099
8	-0.104	-0.118	-0.126	-0.124	-0.121	-0.115	-0.110	-0.105
9	-0.124	-0.159	-0.170	-0.168	-0.162	-0.153	-0.145	-0.137
10	-0.142	-0.186	-0.201	-0.198	-0.191	-0.178	-0.169	-0.160
11	-0.124	-0.159	-0.170	-0.168	-0.162	-0.153	-0.145	-0.137
12	-0.140	-0.179	-0.194	-0.191	-0.184	-0.172	-0.163	-0.154
13	-0.125	-0.177	-0.194	-0.191	-0.184	-0.172	-0.163	-0.154
14	-0.155	-0.194	-0.210	-0.206	-0.199	-0.186	-0.176	-0.166
15	-0.151	-0.190	-0.205	-0.202	-0.195	-0.181	-0.171	-0.161
16	-0.149	-0.191	-0.206	-0.203	-0.196	-0.183	-0.174	-0.164
17	-0.150	-0.194	-0.209	-0.206	-0.199	-0.186	-0.176	-0.167
18	-0.167	-0.209	-0.225	-0.221	-0.213	-0.199	-0.188	-0.178
19	-0.171	-0.215	-0.230	-0.227	-0.219	-0.204	-0.193	-0.183
20	-0.165	-0.209	-0.225	-0.221	-0.214	-0.199	-0.189	-0.178
21	-0.141	-0.193	-0.208	-0.205	-0.198	-0.184	-0.174	-0.165
22	-0.136	-0.190	-0.205	-0.202	-0.195	-0.182	-0.172	-0.162
23	-0.130	-0.164	-0.180	-0.176	-0.169	-0.155	-0.144	-0.134
24	-0.131	-0.172	-0.188	-0.184	-0.177	-0.163	-0.152	-0.142
25	-0.089	-0.111	-0.125	-0.122	-0.115	-0.103	-0.094	-0.085
26	-0.105	-0.128	-0.143	-0.140	-0.132	-0.119	-0.110	-0.099
27	-0.052	-0.063	-0.076	-0.073	-0.066	-0.056	-0.049	-0.040
28	-0.090	-0.104	-0.111	-0.110	-0.106	-0.101	-0.096	-0.091
29	-0.084	-0.096	-0.110	-0.107	-0.099	-0.086	-0.078	-0.068
30	-0.104	-0.117	-0.132	-0.128	-0.120	-0.106	-0.097	-0.086

**Tabel 20. Sudut Tegangan Kasus 2c**

Bus	Jam							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	-0.040	-0.039	-0.040	-0.040	-0.039	-0.038	-0.038	-0.038
3	-0.064	-0.065	-0.064	-0.065	-0.068	-0.070	-0.069	-0.071
4	-0.077	-0.078	-0.077	-0.077	-0.081	-0.084	-0.082	-0.085
5	-0.072	-0.073	-0.072	-0.072	-0.074	-0.076	-0.075	-0.078
6	-0.086	-0.087	-0.086	-0.086	-0.091	-0.094	-0.093	-0.097
7	-0.091	-0.093	-0.091	-0.092	-0.096	-0.099	-0.097	-0.102
8	-0.095	-0.097	-0.095	-0.096	-0.101	-0.105	-0.103	-0.108
9	-0.122	-0.125	-0.122	-0.123	-0.131	-0.137	-0.134	-0.143
10	-0.142	-0.145	-0.142	-0.142	-0.152	-0.159	-0.156	-0.167
11	-0.122	-0.125	-0.122	-0.123	-0.131	-0.137	-0.134	-0.143
12	-0.137	-0.140	-0.137	-0.138	-0.147	-0.154	-0.151	-0.161
13	-0.137	-0.140	-0.137	-0.138	-0.147	-0.154	-0.151	-0.161
14	-0.147	-0.150	-0.147	-0.148	-0.158	-0.166	-0.162	-0.174
15	-0.142	-0.145	-0.142	-0.143	-0.153	-0.161	-0.157	-0.169
16	-0.146	-0.149	-0.146	-0.147	-0.157	-0.164	-0.161	-0.172
17	-0.148	-0.151	-0.148	-0.149	-0.159	-0.166	-0.163	-0.174
18	-0.157	-0.161	-0.157	-0.158	-0.170	-0.177	-0.173	-0.186
19	-0.162	-0.166	-0.162	-0.163	-0.175	-0.183	-0.179	-0.192
20	-0.158	-0.162	-0.158	-0.159	-0.170	-0.178	-0.174	-0.187
21	-0.145	-0.149	-0.145	-0.146	-0.157	-0.164	-0.160	-0.172
22	-0.143	-0.146	-0.143	-0.143	-0.154	-0.162	-0.158	-0.170
23	-0.114	-0.117	-0.114	-0.115	-0.126	-0.134	-0.130	-0.142
24	-0.121	-0.125	-0.121	-0.122	-0.133	-0.141	-0.137	-0.150
25	-0.063	-0.066	-0.063	-0.063	-0.074	-0.081	-0.078	-0.090
26	-0.076	-0.080	-0.076	-0.077	-0.088	-0.096	-0.092	-0.105
27	-0.018	-0.021	-0.018	-0.019	-0.029	-0.035	-0.032	-0.043
28	-0.081	-0.083	-0.081	-0.081	-0.086	-0.090	-0.088	-0.093
29	-0.043	-0.047	-0.043	-0.044	-0.056	-0.063	-0.059	-0.072
30	-0.060	-0.064	-0.060	-0.061	-0.073	-0.081	-0.077	-0.091

Bus	Jam							
	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	-0.038	-0.036	-0.033	-0.029	-0.025	-0.023	-0.026	-0.028
3	-0.065	-0.054	-0.044	-0.037	-0.033	-0.035	-0.046	-0.057
4	-0.078	-0.064	-0.052	-0.043	-0.039	-0.042	-0.055	-0.068
5	-0.075	-0.067	-0.059	-0.052	-0.048	-0.049	-0.057	-0.065
6	-0.089	-0.076	-0.061	-0.052	-0.049	-0.052	-0.065	-0.078
7	-0.097	-0.086	-0.074	-0.065	-0.062	-0.065	-0.075	-0.086
8	-0.101	-0.088	-0.074	-0.064	-0.061	-0.065	-0.077	-0.091
9	-0.117	-0.096	-0.058	-0.043	-0.040	-0.042	-0.066	-0.095
10	-0.132	-0.107	-0.056	-0.038	-0.036	-0.036	-0.067	-0.103
11	-0.117	-0.096	-0.058	-0.043	-0.040	-0.042	-0.066	-0.095
12	-0.116	-0.087	-0.043	-0.016	-0.003	-0.007	-0.058	-0.100
13	-0.086	-0.045	0.016	0.060	0.084	0.082	-0.003	-0.064
14	-0.132	-0.104	-0.060	-0.035	-0.023	-0.029	-0.077	-0.117
15	-0.128	-0.101	-0.058	-0.035	-0.023	-0.030	-0.075	-0.115
16	-0.132	-0.104	-0.057	-0.034	-0.026	-0.029	-0.071	-0.110
17	-0.138	-0.112	-0.063	-0.043	-0.039	-0.040	-0.074	-0.112
18	-0.148	-0.122	-0.076	-0.055	-0.046	-0.052	-0.092	-0.130
19	-0.155	-0.130	-0.082	-0.061	-0.055	-0.060	-0.096	-0.134
20	-0.151	-0.125	-0.077	-0.057	-0.052	-0.055	-0.090	-0.128
21	-0.132	-0.105	-0.044	-0.026	-0.026	-0.024	-0.056	-0.097
22	-0.128	-0.100	-0.037	-0.019	-0.019	-0.016	-0.049	-0.091
23	-0.105	-0.078	-0.040	-0.027	-0.012	-0.025	-0.064	-0.101
24	-0.117	-0.091	-0.045	-0.032	-0.027	-0.035	-0.064	-0.098
25	-0.077	-0.055	-0.030	-0.027	-0.025	-0.043	-0.056	-0.073
26	-0.093	-0.072	-0.047	-0.043	-0.042	-0.060	-0.073	-0.090
27	-0.042	-0.024	-0.012	-0.016	-0.015	-0.040	-0.042	-0.047
28	-0.087	-0.073	-0.059	-0.051	-0.048	-0.054	-0.065	-0.077
29	-0.073	-0.055	-0.044	-0.046	-0.046	-0.072	-0.074	-0.079
30	-0.093	-0.076	-0.064	-0.066	-0.067	-0.093	-0.095	-0.100

Bus	Jam							
	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	-0.031	-0.034	-0.034	-0.034	-0.035	-0.036	-0.037	-0.038
3	-0.068	-0.077	-0.082	-0.082	-0.079	-0.076	-0.073	-0.070
4	-0.081	-0.092	-0.098	-0.098	-0.094	-0.091	-0.088	-0.084
5	-0.073	-0.082	-0.086	-0.085	-0.083	-0.081	-0.078	-0.076
6	-0.091	-0.106	-0.112	-0.112	-0.108	-0.103	-0.099	-0.095
7	-0.097	-0.110	-0.116	-0.116	-0.112	-0.107	-0.103	-0.099
8	-0.104	-0.118	-0.126	-0.125	-0.121	-0.115	-0.110	-0.105
9	-0.124	-0.159	-0.170	-0.169	-0.162	-0.153	-0.145	-0.137
10	-0.142	-0.186	-0.201	-0.199	-0.191	-0.178	-0.169	-0.160
11	-0.124	-0.159	-0.170	-0.169	-0.162	-0.153	-0.145	-0.137
12	-0.140	-0.179	-0.194	-0.192	-0.184	-0.172	-0.163	-0.154
13	-0.125	-0.177	-0.194	-0.192	-0.184	-0.172	-0.163	-0.154
14	-0.155	-0.194	-0.210	-0.208	-0.199	-0.186	-0.176	-0.166
15	-0.151	-0.190	-0.205	-0.203	-0.195	-0.181	-0.171	-0.161
16	-0.149	-0.191	-0.206	-0.204	-0.196	-0.183	-0.174	-0.164
17	-0.150	-0.194	-0.209	-0.207	-0.199	-0.186	-0.176	-0.167
18	-0.167	-0.209	-0.225	-0.222	-0.213	-0.199	-0.188	-0.178
19	-0.171	-0.215	-0.230	-0.228	-0.219	-0.204	-0.193	-0.183
20	-0.165	-0.209	-0.225	-0.222	-0.214	-0.199	-0.189	-0.178
21	-0.141	-0.193	-0.208	-0.206	-0.198	-0.184	-0.174	-0.164
22	-0.136	-0.190	-0.205	-0.203	-0.195	-0.182	-0.172	-0.162
23	-0.130	-0.164	-0.180	-0.177	-0.169	-0.155	-0.145	-0.134
24	-0.131	-0.172	-0.188	-0.185	-0.177	-0.163	-0.153	-0.142
25	-0.089	-0.111	-0.125	-0.123	-0.115	-0.103	-0.095	-0.084
26	-0.105	-0.128	-0.143	-0.141	-0.132	-0.119	-0.110	-0.099
27	-0.052	-0.063	-0.076	-0.074	-0.066	-0.056	-0.050	-0.039
28	-0.090	-0.104	-0.111	-0.111	-0.106	-0.101	-0.096	-0.091
29	-0.084	-0.096	-0.110	-0.108	-0.099	-0.086	-0.079	-0.067
30	-0.104	-0.117	-0.132	-0.129	-0.120	-0.106	-0.098	-0.085

*[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Zhongwei, Z. Jin, C. Dong, L. Yuefeng, dan M. Kun, “***A Multi-Period Optimal Power Flow Model Including Battery Energy Storage***”, IEEE Power and Energy Society General Meeting (PES), pp. 1-5, 2013
- [2] Firmansyah, Kemas Robby, “***Economic Dispatch Microgrid Hybrid dengan Distributed Energy Storage Berbasis Metode Quadratic Programming***”, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro FTI – ITS, Surabaya, 2016
- [3] Wang Jiang-hai, TAI Neng-ling, Song Kai, “***Penetration Level Permission of for DG in Distributed Network Considering Relay Protection***,” Proceedings of the CSEE, 30 (2010), No. 22, 37-43.
- [4] Yu Kun, CAO Yijia, CHEN Xingying, “***Dynamic Probability Power Flow of District Grid Containing Distributed Generation***,” Proceedings of the CSEE, 31 (2011), No. 1, 20-25.
- [5] A. R. Sparacino, G. F. Reed, R. J. Kerestes, B. M. Grainger, Z.T. Smith, “***Survey of Battery Energy Storage System and Modeling Techniques***”, IEEE Power and Energy General Meeting, pp.1-8, 2012.
- [6] Fais, Masluchi Aidil, “***Aliran Daya Optimal Dinamis dengan Penetrasi Daya Besar dari Sumber Energi Terbarukan***”, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro FTI – ITS, Surabaya, 2015.
- [7] Saadat, Hadi, “***Power System Analysis***”, McGraw-Hill, 1999
- [8] J. Carpentier, “***Optimal Power Flow***,” International Journal of Electrical Power and Energy Systems, vol. 1, no. 1, pp. 3-15, 1979.
- [9] Nursidi, “***Dynamic Optimal Power Flow Arus Searah Menggunakan Quadratic Programming***”, Tugas Akhir Teknik Elektro FTI – ITS, Surabaya, 2014
- [10] Wood, Allen J, “***Power Generation, Operation, and Control***”, John Wiley & Sons, New York, 1996
- [11] F. A. Mohamed and H. N. Koivo, “***Power Management Strategy for Solving Power Dispatch Problems in Microgrid for Residential Applications***,” in Proc. 2010 IEEE Int. Energy Conf. Exhibit. (EnergyCon), Manama, Bahrain, pp. 746–751.
- [12] F. A. Mohamed and H. N. Koivo, “***System Modelling and Online Optimal Management of Microgrid Using Mesh Adaptive Direct***

- Search*,” International Journal of Electrical Power & Energy System, Vol.32, No.2, pp. 746–751, 2010
- [13] F. A. Mohamed, “**Microgrid Modelling and Online Management**”, Doctoral Dissertation, Departement of Automation and System Technology, Helsinki University of Technology Publication Series, 2008
  - [14] J. Currie, D. I. Wilson. “**OPTI: Lowering the Barrier Between Open Source Optimizers and the Industrial MATLAB User**,” Departement of Electrical & Electronics Engineering, Auckland University of Technology, New Zealand
  - [15] S. Jang, J. Park, J. Hyung Roh, S. Son, K. Y. Lee, “**Short-Term Resource Scheduling For Power Systems With Energy Storage System**,” in IEEE Power Energy Soc. Gen, Meeting, San Diego, CA, USA, 2012.
  - [16] Y. Zhang, N. Rahbari-Asr, J. Duan and M.Y. Chow, “**Day-Ahead Smart Grid Cooperative Distributed Energy Scheduling With Renewable and Storage Integration**”. IEEE Transactions on Sustainable Energy, Vol.7, No.4, October, 2016
  - [17] N. Agustine, S. Suresh, P. Moghe, K. Sheikh, “**Economic Dispatch for a Microgrid Considering Renewable Energy Cost Function**”, Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), IEEE PES, pp. 1-7, 2012
  - [18] A. Sobu and G. Wu, “**Dynamic Optimal Schedule Management Method for Microgrid System Considering Forecast Errors of Renewable Power Generation**,” in Proc. 2012 Int. Conf. Power Syst. Technol. (POWERCON), Auckland, New Zealand, pp. 1–6.
  - [19] R. Sundari, S. Bayne, M. Giesselmann, “**Economic Dispatch Optimization of Microgrid in Islanded Mode**”, in IESC, Texas Tech University, 2014.
  - [20] PLN, “**Penetapan Penyesuaian Tarif Tenaga Listrik Bulan April – Juni 2017**”, PLN, Jakarta, 2017.
  - [21] Cummins Power, “**Generator Set C100 D2R Datasheet**”, Cummins Power, 2014



## **BIOGRAFI PENULIS**



Fiona Yolita Purnomo lahir di Surabaya pada 7 Agustus 1995. Penulis menyelesaikan pendidikan formal di SDN Kedurus II 429 Surabaya pada tahun 2007, SMP Negeri 1 Surabaya pada tahun 2010 dan SMA Negeri 5 Surabaya pada tahun 2013. Kemudian melanjutkan studi S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) pada 2013 jurusan Teknik Elektro. Bidang studi yang diambil penulis adalah Teknik Sistem Tenaga. Dalam bidang organisasi, penulis tergabung dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro ITS pada tahun 2014 – 2016. Selain itu, penulis aktif sebagai asisten di Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga Listrik Teknik Elektro ITS. Penulis dapat dihubungi melalui alamar email : [fionayolita@gmail.com](mailto:fionayolita@gmail.com).

*[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]*